



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
JULIO 2017
ANA MARÍA GONZÁLEZ BERMÚDEZ
Grado en Ingeniería Agrícola. Esp.: Hortofruticultura y Jardinería

Directores: Rafael Fernández Cañero
Luis Pérez Urrestarazu

Título del proyecto: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR.

Alumna: Ana María González Bermúdez

Titulación y Especialidad: Grado en Ingeniería Agrícola. Hortofruticultura y Jardinería.

Directores:

Rafael Fernández Cañero

Luis Pérez Urrestarazu

Sevilla, Julio del 2017

ÍNDICE

1.	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS 1	
1.1.	Introducción	3
1.2.	Sistema acuapónico	6
1.2.1.	Acuicultura	6
1.2.2.	Hidroponía	7
1.2.3.	Acuaponía	9
1.2.4.	Elementos de un sistema acuapónico	11
1.3.	Elementos acuáticos en el jardín	13
1.3.1.	Agua e historia.....	13
1.3.2.	Representación del agua en el jardín: Estanques, fuentes y cascada	18
1.3.2.1.	Tipos de estanque, diseño y construcción	20
1.3.2.2.	Mantenimiento de estanques	21
1.3.3.	Peces ornamentales y vegetación	23
1.4.	Jardines verticales	25
1.4.1.	Historia	25
1.4.2.	Tipos de jardines verticales	27
1.4.3.	Beneficios de los jardines verticales	30
1.5.	Objetivos	34
2.	MEMORIA DESCRIPTIVA	35
2.1.	Situación de partida	37
2.1.1.	Instalaciones existentes	38
2.1.2.	Condicionantes de partida	39
2.1.2.1.	Condicionantes climáticos	39
2.1.2.2.	Condicionantes ambientales en la zona	40
2.1.2.3.	Condicionantes del agua del estanque	41
2.1.3.	Materiales biológicos	41
2.1.3.1.	Peces presentes en el estanque	42
2.1.3.2.	Plantas acuáticas y palustre presentes en el estanque	47
2.2.	Materiales y métodos	49

2.2.1.	Material instrumental	49
2.2.2.	Operaciones necesarias de mantenimiento	51
2.2.3.	Metodología en la medición de parámetros físico-químicos del agua...	53
2.2.4.	Metodología de la evaluación del desarrollo vegetal.....	55
2.2.5.	Desarrollo del cuestionario a los alumnos	57
2.3.	Diseño y construcción del sistema acuapónico	59
2.3.1.	Diseño del sistema acuapónico ornamental	59
2.3.2.	Diseño jardín vertical	62
2.3.2.1.	Estructura del jardín vertical	62
2.3.2.2.	Diseño de la composición vegetal	64
2.3.2.3.	Selección de especies vegetales	65
2.3.2.4.	Sistema de riego	83
2.3.2.5.	Sustrato utilizado.....	84
2.3.3.	Construcción del sistema	85
2.3.3.1.	Construcción del vaso superior y cascada	85
2.3.3.2.	Construcción del jardín vertical	88
3.	FUNCIONAMIENTO Y MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA ACUAPÓNICO	91
3.2.	Evaluación del crecimiento y desarrollo vegetal en el jardín vertical	98
3.3.	Resultados de las encuestas a los alumnos	101
4.	CONCLUSIONES	109
5.	BIBLIOGRAFÍA	113
	ANEXOS	121
	ANEXO I: Croquis: Planta Sistema acuapónico	123
	ANEXO II: Croquis: Perfil Sistema acuapónico	127
	ANEXO III: Plano N° 1: Alzado dimensionado del jardín vertical	131
	ANEXO IV: Plano de plantación	135
	ANEXO V: Encuesta.....	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución del pH del agua durante el período en el que se realiza el estudio	93
Gráfico 2. Medidas de conductividad eléctrica en el agua del jardín vertical y el estanque.....	95
Gráfico 3. Medidas de concentración de nitratos en el agua del estanque.....	96
Gráfico 4. Evolución de la cobertura vegetal desde el primer día de plantación.....	98
Gráfico 5. Valoración de la estética del jardín delantero de la ETSIA.....	101
Gráfico 6. Evaluación de alumnos que conocen el jardín vertical base del proyecto...	102
Gráfico 7. Evaluación de conocimientos acerca de jardines verticales.....	103
Gráfico 8. Evaluación de conocimientos acerca de acuaponía.....	103
Gráfico 9. Evaluación de conocimientos acerca de la combinación de jardines verticales y acuaponía	104
Gráfico 10. Evaluación de los alumnos acerca de la estética que aporta el jardín vertical al conjunto	105
Gráfico 11. Evaluación de la opinión de los alumnos acerca de las nuevas oportunidades que puede ofrecer el sistema acuapónico ornamental	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Naturación urbana en la ciudad	4
Ilustración 2. Sistema de acuicultura de recirculación con filtro biológico y mecánico...	7
Ilustración 3. Sistema de hidroponía.....	8
Ilustración 4. Sistema acuapónico.....	10
Ilustración 5. Proceso de nitrificación.....	10
Ilustración 6. Representación de un jardín egipcio con estanque ornamental central..	14
Ilustración 7. Jardín romano con Atrio central rodeado de columnas en Conimbriga, Portugal.....	15
Ilustración 8. Stourhead Gardens. Mere, Wiltshire (Inglaterra)	17
Ilustración 9. Parque Burle Marx-Sao Paulo	19
Ilustración 10. Estanque formal (Alhambra, Granada)	20
Ilustración 11. Estanque informal	20
Ilustración 12. Estanque con nenúfares (Alhambra, Granada).....	24
Ilustración 13. Jardín vertical CaixaForum (Madrid).....	27
Ilustración 14. Esquema del funcionamiento de un jardín vertical activo	30
Ilustración 15. Fairmont Techo verde de Waterfront Hotel (Vancouver)	33
Ilustración 16. Zona de emplazamiento	37
Ilustración 17. Zona de emplazamiento “Proyecto de Innovación Docente”	38
Ilustración 18. Bomba en zona profunda del estanque y vegetación de la orilla	39
Ilustración 19. Módulos del jardín vertical con mayor iluminación en la parte derecha	41
Ilustración 20. Ejemplar de Goldfish	42
Ilustración 21. Ejemplar de pez ‘Cometa’	44
Ilustración 22. Ejemplar de pez ‘Shubunkin’	45
Ilustración 23. Ejemplar Guppy macho	46

Ilustración 24. Ejemplar de <i>Cyperus papyrus</i>	48
Ilustración 25. Ejemplares de nenúfar en el estanque.....	48
Ilustración 26. pH-metro	50
Ilustración 27. Medidor de Ce	50
Ilustración 28. Medidor de nitratos.....	50
Ilustración 29. Bomba impulsando agua al biofiltro que vierte sobre el estanque	52
Ilustración 30. Proceso de medición de nitratos	55
Ilustración 31. Ejemplos de fotos tomadas del jardín vertical	55
Ilustración 32. A la izquierda imagen pixelada de vegetación, a la derecha imagen del jardín vertical pixelado	56
Ilustración 33. Disposición del vaso con respecto al camino y el estanque. Detalle del muro en construcción	60
Ilustración 34. Muro de contención con hueco de evacuación de agua	61
Ilustración 35. Curva característica de la bomba	61
Ilustración 36. Modelo de tubería y conexión Fuente: Propia	62
Ilustración 37. Estructura completa de un módulo patentado por la Universidad de Sevilla	63
Ilustración 38. Montaje de las piezas de la abertura de evacuación del agua	64
Ilustración 39. Imagen original para el diseño del jardín	65
Ilustración 40. Fragmento seleccionado de la imagen original	66
Ilustración 41. Jardín vertical diferenciado por zonas	66
Ilustración 42. <i>Acanthus mollis</i>	67
Ilustración 43. <i>Agapanthus africanus</i>	68
Ilustración 44. <i>Ajuga reptans</i> 'Autropurpurea'	69
Ilustración 45. <i>Asparagus sprengeri</i>	70
Ilustración 46. <i>Begonia rex</i>	71
Ilustración 47. <i>Carex oshimensis</i> 'Evororo'	72

Ilustración 48. <i>Carex flacca</i> 'Blue zinger'	72
Ilustración 49. <i>Chlorophytum comosum</i>	74
Ilustración 50. <i>Cyclamen persicum</i>	75
Ilustración 51. <i>Fatsia japonica</i>	76
Ilustración 52. <i>Ficus pumila</i>	77
Ilustración 53. <i>Hedera helix</i> 'Goldchild'	78
Ilustración 54. <i>Monstera deliciosa</i>	79
Ilustración 55. <i>Nephrolepis exaltata</i>	80
Ilustración 56. <i>Soleirolia soleirolii</i>	81
Ilustración 57. <i>Tradescantia pallida</i> 'Purpurea'	82
Ilustración 58. Programador de riego automático	84
Ilustración 59. Zona de emplazamiento del vaso superior	85
Ilustración 60. Base reforzada con hierro corrugado	86
Ilustración 61. Realización de la mezcla de obra	87
Ilustración 62. Resultado final de la construcción de la cascada	87
Ilustración 63. Red y cubo de agua para lavar la perlita. A la derecha cubo con perlita preparada	88
Ilustración 64. Lavado del cepellón de "Ajuga reptans"	89
Ilustración 65. Rellenando bolsillos con sustrato	90
Ilustración 66. Agua del estanque antes de la puesta en marcha del funcionamiento del sistema	97
Ilustración 67. Agua del estanque una vez puesto en marcha el funcionamiento del sistema	97
Ilustración 68. Evolución de la cobertura vegetal desde el primer día de plantación	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de la frecuencia de cada opinión (%).....	106
--	-----

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Las ciudades comenzaron a industrializarse y a cambiar la forma en que se desarrollaban a partir de la Revolución Industrial, momento exacto que supuso un cambio, de ciudades que tenían un control reducido sobre sus recursos, materiales y energías, a ciudades donde es necesario replantearse un nuevo reto de desarrollo sostenible (Higueras, 2009).

Resulta evidente, que la sociedad actual del hemisferio norte se organiza y desarrolla una forma de vida que va de la mano de problemas relacionados con la sostenibilidad y el medio ambiente (PNUD, 1998).

Los asentamientos urbanos se han expandido rápidamente siguiendo un modelo de mosaico homogéneo que crea una urbanización dispersa y segregada en cuanto a usos urbanos, que no se adaptan a su clima ni entorno, lo que deriva en un mayor consumo de recursos y uso energético por los constantes desplazamientos de la población. Además, la mayor parte de la energía utilizada no es renovable, con lo cual se agota y contamina. A todos estos problemas se suma la forma de vida de la población, que no considera los ciclos de la materia y energía. Por lo tanto, se crea una ciudad que sigue un modelo de metabolismo lineal, que genera residuos que no se vuelven a incorporar en la cadena de valor (Carta de Aalborg, 1994; Salvador-Palomo, 2003; Higueras, 2009).

Estos problemas han desencadenado la alarma social de numerosos ciudadanos que cada vez están más preocupados por la situación y exigen calidad de vida. Ya, en 1992 se realizó una Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro, donde se abordaron todos estos problemas. A raíz de esta conferencia surgieron diferentes documentos, como la Agenda 21, con el objetivo principal del desarrollo sostenible (Ros-Orta, 2006).

La Agenda Local 21 es un documento dinámico y participativo que fomenta la idea de ciudad flexible e integral. Permite la incorporación de nuevas metas y valora positivamente la participación del ciudadano, ya que considera que para que exista un desarrollo sostenible es esencial que la sociedad en su conjunto contribuya en modo decisivo a su propia regeneración ambiental (Higueras, 2009).

La ratificación de la carta de Alborg 1995 y el marco de la Agenda 21, permiten a los responsables municipales establecer las vías hacia la sostenibilidad. Este camino se lleva a cabo con ciertas medidas, algunas de manifestación directa como la naturación

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

urbana, puesto que uno de los factores que hacen destacar el nivel de calidad de una ciudad es a través del equipamiento de zonas verdes y su estado de conservación.

Estas medidas prestarían especial atención a la conservación de las zonas verdes, del medio rural y la relación de los ciudadanos con la naturaleza, respondiendo así a las necesidades de salud, educación ambiental y ocio de la sociedad del siglo XXI (Briz, 2004; Ros-Orta, 2006).

La naturación urbana nace como respuesta ante el deseo del ciudadano de vivir en espacios dotados de verde natural tanto en las ciudades como en edificios, una zona donde satisfacer sus necesidades: físicas, psíquicas, culturales, de ocio, deportivas y de relación social. Briz (2004) la define como la transformación de los edificios y espacios urbanos en biotopos, uniéndolos mediante corredores verdes, facilitando así la circulación atmosférica, y la mejora del microclima de la ciudad (Ilustración 1).



Ilustración 1. Naturación urbana en la ciudad. Fuente: <http://laterapiadelarte.com/wp-content/uploads/2016/02/jul2.jpg>

La naturación urbana convencional se desarrolla a principios del S. XIX al abrirse al público los jardines privados. Debido a los cambios sociales y a la expansión urbana, adaptar la ciudad no resulta fácil. Se empiezan a habilitar espacios para uso público bajo el término “parque”. Posteriormente, otras zonas de la ciudad se van dotando de

jardines públicos con el mero fin de enverdecer la ciudad, son conocidas como “zonas verdes” incluyéndose también la vegetación en áreas de paseo, zonas deportivas, infantiles y vías de circulación que, además de enverdecer tienen el fin de protección, de contención de tierras etc. (Vega-Revenga, 2012).

Las etapas sucesivas se caracterizan por un gran desarrollo de la edificación y especulación del suelo que hacen poner un freno al aumento de zonas verdes. Como resultado, encontramos ciudades con una planificación urbanística no adaptada a su clima y al medio, que requieren una continua dependencia energética y que carecen de vegetación. Por tanto, empieza una nueva etapa que se determina por una serie de problemas a los que hay que buscar soluciones. Con el tiempo la jardinería urbana se ve obligada a adaptarse, dando lugar a un modelo de restructuración, que hoy en día está en fase de transición entre el sistema tradicional y el nuevo horizonte que ofrecen las ciudades, la naturación no convencional (Salvador-Palomo, 2003; Briz, 2004; Hoffmann y Roehrich, 2015).

La naturación no convencional incluye nuevas formas de ajardinamiento en fachadas y cubiertas de edificios. Este tipo de naturación constituye un sector que se encuentra en expansión, permitiendo que numerosas empresas desarrollen diversos sistemas constructivos alternativos e invirtiendo en la investigación de tecnologías innovadoras que mejoren dicho sistema (Fernández-Cañero *et al.*, 2015).

1.2. Sistema acuapónico

La definición de acuaponía aportada por la FAO (2014) indica que *“se trata de un sistema de recirculación formado por la integración de la acuicultura y la hidroponía en un sistema de producción”*.

1.2.1. Acuicultura

La acuicultura es la cría y producción en cautividad de peces y otras especies acuáticas como crustáceos, moluscos, plantas acuáticas y algas bajo condiciones controladas. Los métodos de producción de la acuicultura se han adaptado a las condiciones ambientales y climáticas específicas de cada región en la que se han desarrollado (Cohen *et al.*, 2014). Dependiendo de la densidad de producción, es decir, cuantos peces por m² se crían, los sistemas productivos en acuicultura pueden clasificarse en extensivos o intensivos, abarcando cuatro categorías como son: sistema de aguas abiertas, cultivo de estanques, conductos de flujo y canales de recirculación de sistemas de acuicultura (SRA).

Entre los sistemas intensivos se mencionan los sistemas acuícola de reúso, en los que el agua se mueve de un estanque a otro en una misma dirección y nunca regresando al principio, y los sistemas de recirculación (Losordo y Timmons, 1994).

Un SRA, es un sistema en el cual el agua fluye desde los estanques de cultivo a los sistemas de tratamientos, para luego regresar nuevamente a los estanques de cultivo. En el tratamiento de agua para la reutilización, se lleva a cabo un proceso de limpieza y filtración a través de métodos mecánicos y biológicos. Los filtros mecánicos se colocan a continuación del tanque que contiene los peces y sirven para eliminar todas las partículas sólidas en suspensión que existen en el sistema.

Los filtros biológicos, se colocan a continuación de los mecánicos y se emplean con el objetivo de transformar biológicamente los desechos metabólicos generados por los peces (Ilustración 2). Estos filtros requieren una estructura que posea en poco espacio una gran superficie de contacto (pequeñas esferas con superficie en relieve), donde con el tiempo, anidarán bacterias. Estas bacterias, son las encargadas de llevar a cabo el proceso de conversión de los residuos del agua a sustancias menos tóxicas que puedan permanecer en el sistema.

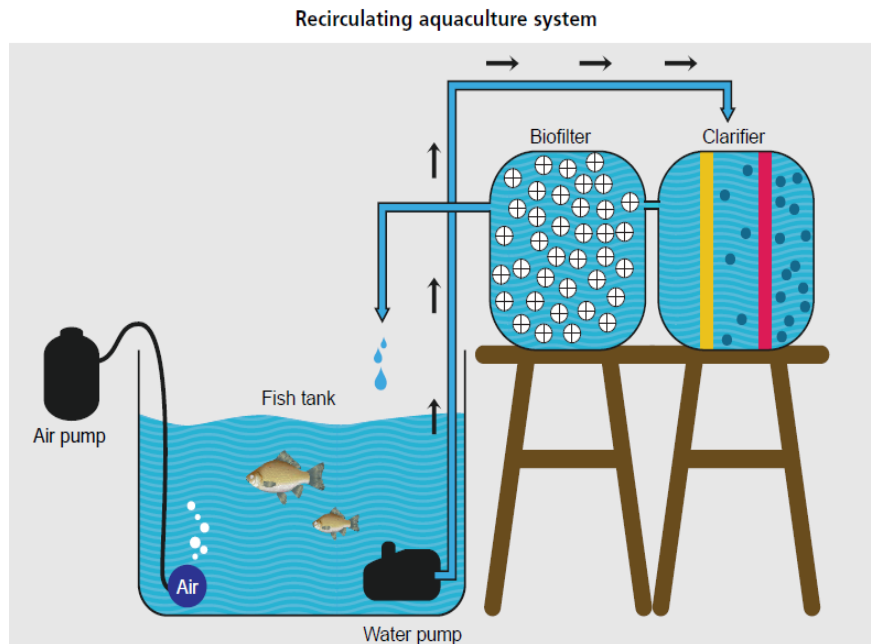


Ilustración 2. Sistema de acuicultura de recirculación con filtro biológico y mecánico. Fuente: Cohen et al., 2014

Aunque el SRA no es el sistema de producción más barato debido a sus mayores costos de inversión, energía y administración, puede aumentar considerablemente la productividad por unidad de tierra y es la tecnología de ahorro de agua más eficiente en la acuicultura, ya que requiere menos del 10 % de agua comparado con los proyectos de acuicultura extensiva y de reúso, aun así, más allá de la filtración que se realiza, es necesaria una renovación mínima del agua (5 %- 10 %), para poder mantener los parámetros físico-químicos en niveles tolerables para los peces (Losordo y Timmons, 1994; Caló, 2011; Cohen et al., 2014).

La acuicultura de recirculación es el tipo de sistema que se integrará con la hidroponía para formar un sistema de producción acuapónico.

1.2.2. Hidroponía

La hidroponía es el cultivo de plantas, principalmente hortalizas, en el que no se emplea suelo alguno. En lugar de suelo, se usan varios medios de cultivo inertes, también llamados sustratos, como son el sistema de camas, o el agua como en el caso del sistema de raíz flotante (Ilustración 3). Estos medios proporcionan soporte de plantas y retención de humedad. Por ser inerte el sustrato de cultivo, las plantas hidropónicas se alimentan con una solución nutritiva en la cual se disuelven en agua

las sales minerales que aportan a las plantas todos los elementos necesario para su desarrollo.

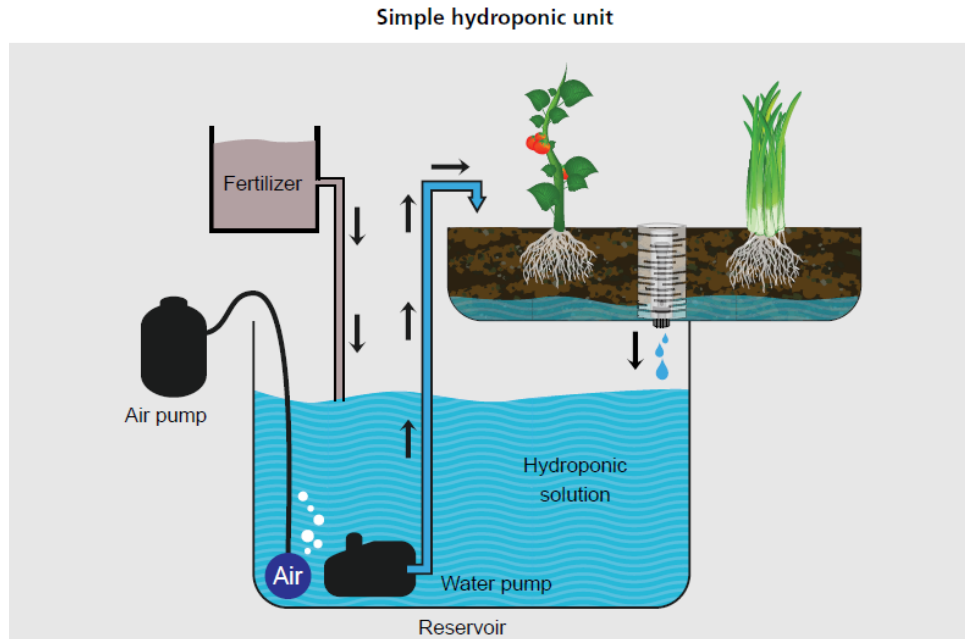


Ilustración 3. Sistema de hidroponía. Fuente: Cohen et al., 2014

Los sistemas de riego se integran dentro de los medios de fijación de las plantas. Una vez formulada la solución nutritiva y diluida según el caso, se aplica a medida que las plantas van absorbiendo los nutrientes, incorporándose nuevamente a la solución, en razón de dos a tres litros de solución por m² al día, seis días a la semana y dejando un día a la semana el riego con solo agua; esto para lavar el exceso de nutrientes acumulados en el sustrato (Soto y Ramírez, 2002; González, 2009; Caló, 2011; Cohen et al., 2014).

En el agua, deberán mantenerse los parámetros fisicoquímicos que favorezcan el crecimiento de las plantas. Esta técnica de cultivo permite lograr mejores rendimientos por unidad de superficie, en comparación con los cultivos en tierra, además de la obtención de productos que pueden ser de mejor calidad que los obtenidos en ella. Tres de los sistemas de cultivos hidropónicos más comunes son:

- **NFT:** “Nutrient Film Technique”. Son sistemas que necesitan muy poco espacio. A través de un canal de cultivo con un poco de pendiente, se hace correr una película de agua muy fina que contiene una solución nutritiva. Al atravesar todo el canal de cultivo, el agua retorna al reservorio. Las plantas son contenidas en algún recipiente plástico ranurado que está suspendido sobre el canal, permitiendo que sus raíces alcancen el nivel del agua. Esta técnica permite agrupar plantas y obtener rendimientos altos por unidad de superficie.

Actualmente, existen diseños de sistemas NFT verticales donde se aprovechan muros, creando así, cultivos verticales.

- **Lecho de sustrato:** Contenedores de 30 cm de profundidad máxima que están llenos de un sustrato inerte que sirve de sostén a las plantas. Los sustratos que se emplean pueden ser de diferentes tipos como arcilla expandida, grava, perlita, vermiculita, etc.
En este sistema, el agua entra por uno de sus extremos y tiene salida por el opuesto, regresando así al reservorio. Son utilizados para todo tipo de plantas pero en especial, proporcionan una buena fijación en caso de condiciones climáticas adversas para aquellas plantas que necesitan un buen apoyo por su peso como son los tomates o los pimientos.
- **Balsas flotantes:** Los sistemas de balsas flotantes no necesitan un depósito de agua de reserva independiente de la zona de cultivo. Los contenedores en este caso irán enteramente llenos de solución nutritiva. Flotando sobre ella, se coloca una plancha de poliestireno expandido, comúnmente conocido como corcho blanco, de unos 4-5 cm de espesor. Sobre el corcho se efectúan perforaciones donde se colocan las plantas, sostenidas por vasos de plásticos ranurados. De esta forma, las raíces quedan inmersas en la solución nutritiva. La solución debe ser aireada mediante burbujeo de manera continua, asegurando así, una buena oxigenación a la solución (Caló, 2011; Cohen *et al.*, 2014).

1.2.3. Acuaponía

La acuaponía es la combinación entre el cultivo de peces, llamado acuicultura, y el cultivo de plantas a través de la hidroponía, con la finalidad de obtener un único sistema de producción. Ambos se integran formando un sistema de recirculación en el que el agua del tanque de peces pasa a través de unos filtros, a continuación por el sistema hidropónico y vuelve de nuevo al tanque de peces. De este modo, las plantas reciben la mayoría de los nutrientes necesarios para su crecimiento directamente del agua de cultivo de los peces, gracias a los desechos metabólicos generados y los restos de alimento (Ilustración 4).

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

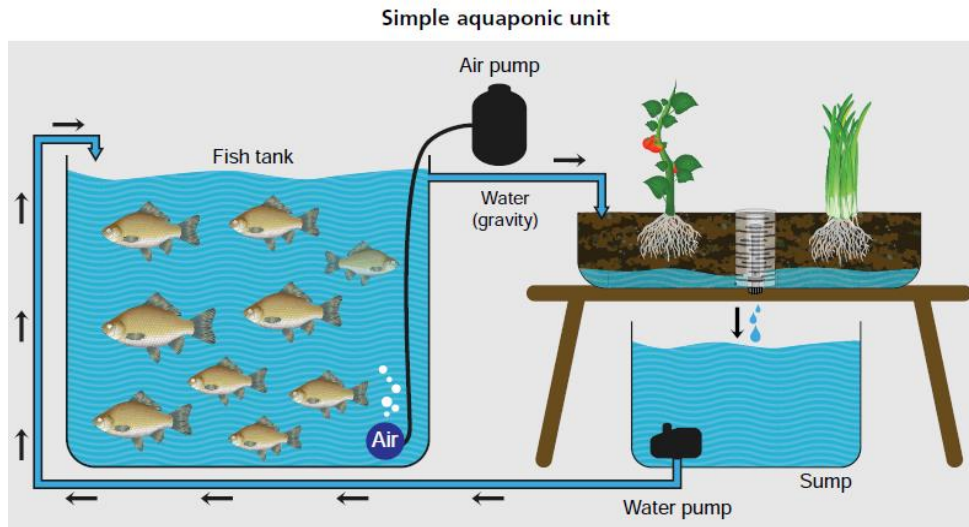


Ilustración 4. Sistema acuapónico. Fuente: Cohen et al., 2014

Las excretas de los peces son ricas en nutrientes para las plantas pero tóxicas para los mismos peces, por lo que las plantas actúan como un biofiltro al absorber estas sustancias. Para que esta simbiosis tenga lugar, previamente, bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) transforman el nitrógeno amoniacal (NAT) en nitritos y nitratos. En primer lugar, el amoniaco (NH_3), mediante la amonificación, se disuelve en el agua formando hidróxido de amonio. *Nitrosomas*, en presencia de oxígeno, consumen dicho hidróxido transformándolo en nitritos (NO_2^-), y a continuación, las bacterias *Nitrobacter* lo convierten en nitratos (NO_3^-) disponibles para las plantas (Ilustración 5).

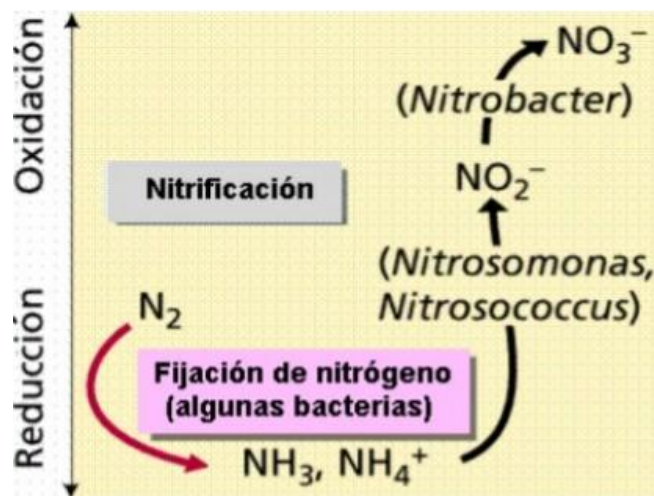


Ilustración 5. Proceso de nitrificación. Fuente:
<http://ambienteysaludciclodelnitrogeno.blogspot.com.es/2016/04/fases-del-ciclo-del-nitrogeno.html?m=1>

En conclusión, gracias a la acuaponía se genera un producto de valor, a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que el agua queda disponible para ser reutilizada. De esta manera, se forma un sistema de producción rentable que sirve también para el tratamiento de desechos (Rakocy, 1999; Piedrahita 2005; Cohen *et al.*, 2014).

1.2.4. Elementos de un sistema acuapónico

El diseño de un sistema acuapónico suele seguir una cierta generalidad. Se hará referencia de nuevo a conceptos mencionados anteriormente, extendiéndonos más en cada una de las partes que constituyen el sistema:

- **Tanque para el cultivo de peces:** El tanque para cultivar los peces es un componente indispensable en un sistema acuapónico. Sus dimensiones deben ser proporcionales a la carga de peces. Teniendo en cuenta que éstos son más propensos a desplazarse horizontalmente, se debe contar con tanques que no tengan más espacio vertical que horizontal y de un material resistente, evitando así contenedores de metal ya que pueden corroerse por el agua. Además, el tanque de producción debe ser lo suficientemente grande para asegurar el llenado del sistema hidropónico y al mismo tiempo garantizar un adecuado volumen de agua para que los peces puedan nadar libremente.
- **Bomba de aireación y bomba de agua:** Es necesario oxigenar el agua ya que los peces necesitan la presencia de oxígeno disuelto para su supervivencia. El movimiento en el agua y el oxígeno también favorece a las raíces de las plantas, evitando así su pudrición. La concentración mínima de oxígeno disuelto varía según la especie cultivada; además es necesario que la bomba de aireación esté funcionando las 24 horas, sin interrupciones.
Por otro lado, la bomba de agua es el motor del sistema acuapónico, dirige el agua desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y de estos la reenvía de vuelta al tanque en un sistema cerrado de recirculación.
- **Remoción de sólidos:** Como se ha comentado en el apartado “acuicultura”, un filtro mecánico es necesario para eliminar los sólidos en suspensión.
- **Biofiltración:** Incluye un biofiltro que está compuesto por un contenedor que alberga materiales porosos como piedra, esponjas o bio-bolas. Las bio-bolas son elementos plásticos diseñados para ofrecer una considerable superficie a

las bacterias y actuar como filtro mecánico al recoger las partículas en suspensión (Rakocy, 2006; Colagrosso, 2014).

El biofiltro sirve para albergar las bacterias que llevarán a cabo el proceso de nitrificación (Bernal-Melo, 2008).

- **Sistema de cultivo hidropónico:** Siendo el más común el sistema NFT descrito anteriormente.
- **Elementos orgánicos del sistema:** En este apartado se incluyen tanto la población de peces, como las especies vegetales y la comunidad de bacterias.

En cuanto a los peces, varias especies han sido cultivadas con éxito en los sistemas de acuaponía, aunque la tecnología se limita más a las opciones de agua dulce. Se puede optar por peces ornamentales o comestibles, pero lo más importante es escoger la especie que más se adapte a la temperatura y la calidad del agua del sistema. Las especies comestibles más utilizadas son la tilapia. Para la elección de los vegetales a cultivar, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor demanda nutricional necesite una planta, los sistemas deberán mantener una mayor carga de peces que generen nutrientes suficientes. Se pueden emplear desde hortalizas, especies aromáticas, plantas acuáticas hasta plantas ornamentales.

A pesar de los aspectos a tener en cuenta para la selección de peces y plantas comentados anteriormente, es muy importante que la combinación de ambas funcione. Es por ello que debe considerarse que las dos especies tengan requerimientos similares en cuanto a temperatura y pH, ya que así se lograrán los mejores resultados. Siempre habrá algún compromiso para con cualquiera de las especies, y esto se debe a que la mayoría de las plantas prefieren un pH que ronde los 5,5 puntos, mientras que los peces prefieren un pH de 7,5. También, para un mejor funcionamiento del sistema, es aconsejable utilizar sistemas que se encuentren maduros, es decir, sistemas que lleven funcionando más de 6 meses, preferentemente, un año. Un sistema maduro podrá generar mejor calidad de nutrientes y de una forma más estable (Mateus, J., 2009; Swindells, 2009; Caló, 2011).

En lo referente a lo anterior, cada vez son más las inversiones en tecnología para detectar problemas como el desequilibrio de nutrientes en el sistema acuapónico. Se ha desarrollado un programa “Symbioponic” que sirve para conocer la relación planta pez y detecta acumulación de nutrientes “positiva o negativamente” (Lennard, 2017).

1.3. Elementos acuáticos en el jardín

Se puede definir “jardín” como un conjunto de especies vegetales que subsisten gracias a la presencia de agua, con un cerramiento que lo delimita de todo lo exterior.

Como se menciona en la definición, uno de los elementos esenciales es el agua, que puede mejorar enormemente cualquier ubicación, y si se utiliza eficazmente, es capaz de reclamar más atención que cualquier otro componente del entorno. El agua, bien sea para evocar emociones o para regar, es el elemento más repetido en la historia de la jardinería desde tiempos inmemoriales (Swindelss, 2009).

1.3.1. Agua e historia

Desde la **prehistoria**, el hombre ha utilizado el agua como recurso esencial para la agricultura. Ha realizado cauces en parcelas por donde se distribuía el agua a todo el terreno con fines agronómicos (Jellicoe, 2004).

La importancia del agua en la historia, también se refleja a través de escritos, como en el Génesis, donde se hace referencia a ella, relacionándola con el jardín del Edén *“Del Edén salía un río que regaba el huerto, y desde aquí se partía en cuatro brazos.”*, dos de ellos refiriéndose al río Tigris y el río Éufrates. Ambos ríos, posteriormente marcarán la evolución de civilizaciones importantes como la egipcia o la mesopotámica.

En las antiguas representaciones gráficas del Paraíso mencionado en el Génesis, se observa un jardín cercado de planta cuadrangular o rectangular, formado por especies vegetales comestibles y ornamentales y, recorrido de un lado a otro por láminas de agua. Este diseño de jardín sirve de modelo para generaciones posteriores (Rubió y Tudurí, 2000).

En la **civilización egipcia**, la agricultura se desarrolló en torno al río Nilo, que inundaba las tierras del alrededor haciendo posible su cultivo. En cuanto a los jardines, constaban de un estanque cuadrangular o rectangular que ocupaba una posición central dentro del jardín. Alrededor del mismo, se situaban distintas parcelas de tierras, siempre de formas rectangulares creando una cuadrícula delimitada por senderos que se cortaban en ángulos rectos y dotados de una serie de canales que provenían del propio Nilo y aportaban agua para el riego de árboles y arbustos.

Domina en su jardinería la utilidad, pues todo lo proyectado en el jardín tiene un planteamiento utilitario, bien como alimento, bien como sombreado. El agua se

utilizaba para la purificación, con ello se justificaba la creación de estanques, en los que también se criaban peces comestibles (Ilustración 6) (de la Cadena, 1998).



Ilustración 6. Representación de un jardín egipcio con estanque ornamental central. Fuente: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Jardines_del_Egipto_antiguo

Los sumerios, un pueblo establecido en la **Mesopotamia** hacia el 3500 a.C., se caracterizaban por realizar construcciones elevadas, como los templos escalonados, o zigurats. No se conocen con suficiente garantía los jardines de aquella época, pero, según las pruebas que constan a través de la pintura e inscripciones en piedra y arcilla, se reflejan jardines en el plano vertical, con lo cual, se desarrollan nuevos métodos hidráulicos para hacer llevar el agua a las zonas más altas. El agua saltaba de una terraza a otra y, es posible que el empleo de surtidores surgiese en estos jardines, utilizando la presión con la que el agua caía de los depósitos superiores. Utilizaron norias, diques, presas y compuertas, incluso se habla de la existencia de un depósito en una de las plantas del Zigurat (Vega-Revenga, 2012).

En el **antiguo imperio persa**, para la captación de agua de las montañas empleaban unos canales subterráneos, “qanats”, desde una bolsa de agua previamente localizada bajo tierra, hasta un depósito. Puesto que en esa región el agua era difícil de encontrar, este tipo de sistema hidráulico era eficaz ya que impedía la evaporación de agua en transportes a largas distancias (Jellicoe, 2004).

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

En los jardines, destaca la división del espacio a través de una cruz formada por amplias avenidas y canales de riego que divide el espacio en cuatro sectores utilizados para la plantación de vegetación, con pabellones cercanos donde disfrutar del paisaje y descansar (Fernández-Cañero, 2015a).

La **civilización griega** incluía el agua a sus jardines a través de fuentes como se puede leer en la descripción de un jardín griego que podemos encontrar en la *Odisea* de Homero (Fariñas Vera, 2007):

“Árboles abundantes en savia crecen allí, cargados de magníficos frutos [...] Dos fuentes riegan el jardín: una lo atraviesa por entero, la otra mana junto al patio, baja la fachada del soberbio palacio...”

Posteriormente, en el **imperio romano**, las denominadas villas romanas, fueron construidas alrededor de un estanque (Atrio) y tenían, además otra serie de espacios abiertos rodeados por el peristilo (fila de columnas) (Ilustración 7). Este atrio era una estructura de recogida de aguas que constaba de un Impluvium y un Compluvium. El Atrio es un espacio abierto compuesto por una apertura cenital de aguas inclinadas (compluvium) hacia un centro que las recoge en una alberca o pozo subterráneo, similar a un aljibe (impluvium).



Ilustración 7. Jardín romano con Atrio central rodeado de columnas en Conimbriga, Portugal. Fuente:
http://www.jardinerosenaccion.es/articulo.php?id_not=322

El peristilo es un patio columnado por los cuatro costados, que relaciona los cubículos o dependencias. El espacio interior era de tierra, y, centrando el conjunto del patio, un motivo central, pozo, fuente, estanque, estatuas, plantas... (de la Cadena, 1998).

En los **jardines árabes**, el agua toma la predominancia como elemento singular del paisaje, discurriendo por canales a cielo abierto sobre mosaicos, azulejos y ladrillo árabe.

Los árabes gozaban de un tipo de jardín muy especial citado en el Corán como el “Jardín de las Delicias”, descrito como “un jardín por donde corren ríos”, y que resultaba un placer para los sentidos. Sus elementos esenciales eran el sonido del agua y el aroma de las plantas (Vega-Revenga, 2012).

El jardín árabe, está inspirado en el jardín persa por el elemento agua y en el jardín romano por su regularidad.

Usaron surtidores, normalmente no en alto, sino a nivel de los pies, con motivo de sus abluciones religiosas, chorros de pequeño caudal, estrechos canalillos, en general aguas estáticas o mansas. Los estanques se cubrían con mármol o azulejo.

Los jardines árabes, suele presentar un elemento central de la composición relacionado con el agua, un pozo o fuente. También, los jardines musulmanes, asiáticos o índicos presentan caracteres similares como es el agua en estanques (Tito-Rojo y Casares-Porcel, 2011).

Más tarde en la **Edad Media**, los jardines pasan a ser espacios funcionales donde se cultivan especies medicinales, aromáticas y frutales.

La obra de *Petrus Crescentius* de finales del siglo XIII, *Opus ruralium commodorum*, describe un tipo de jardín plano, con cerramientos de setos y muros, algunos árboles frutales, flores y hierbas, una pérgola y una fuente ubicada en el centro del jardín. El hecho de que la fuente, pozo o depósito de agua en otros casos, ocupase la zona central del recinto, además del carácter funcional para el riego, simbolizaba el centro de la vida (Fernández-Cañero, 2015a).

El **Renacimiento** supone un renacer de las culturas clásicas, griega y romana. Dentro del jardín, un nuevo estilo llama la atención, la aparición del arte topiario, por lo que se buscan plantas capaces de formar setos largos y continuos.

Intenta buscar un equilibrio entre la arquitectura y los elementos vegetales. Así se destaca la presencia de fuentes, estatuas y grupos escultóricos, estanques, laberintos y

juegos de agua, con creaciones a gran escala. Pasan a ser jardines para la contemplación (de la Cadena, 1998).

Posteriormente, fueron desarrollados los **jardines barrocos en Francia**, donde también se le daba notoriedad al agua, con la instalación de fuentes en el cruce de los caminos principales.



Ilustración 8. Stourhead Gardens. Mere, Wiltshire (Inglaterra). Fuente: <http://urban-networks.blogspot.com.es/2014/06/claves-esenciales-del-jardin-paisajista.html?m=1>

Del mismo modo, en los **jardines paisajistas de Inglaterra**, el agua continúa teniendo una vital importancia, si bien, se emplea la superficie que ocupa para hacer de las fuentes estanques, en muchas ocasiones navegables, por lo que también se construyen embarcaderos (Ilustración 8). Si no había agua en la zona, esta se conducía hasta el jardín y se represaba, desviándola de algún río o lago. Con los jardines paisajistas, se quiere considerar a la naturaleza como un jardín que apenas hay que modificar, en conclusión, el jardín prolonga la naturaleza pero bajo tutela humana (Buttlar, 1993).

Por último, se cita la historia de la **jardinería oriental**. En China, la concepción del arte trata de imitar la naturaleza. Tal y como indica la palabra, paisaje es “shuan-suei”, que quiere decir montaña y agua, ambos elementos aparecen en su jardinería. Los jardines orientales conceden gran importancia al agua y a la tierra, por ello siempre aparecen arroyos, ríos lagos surcados por puentes (Oguchi, 2008).

1.3.2. Representación del agua en el jardín: Estanques, fuentes y cascada

El agua es un elemento sensorial básico que causa fascinación. Ofrece innumerables posibilidades, y ya sea en calma o en movimiento, acostumbra a ser protagonista o foco de atención dentro de cualquier paisaje, ofreciendo muchos aspectos agradables a los usuarios del jardín (Swindells, 2002).

La utilización principal del agua es el riego de las diversas plantaciones que existan en el jardín, pero en este apartado nos centraremos en su importancia como elemento de diseño a través de ecosistemas acuáticos como los estanques y las fuentes.

El agua debe utilizarse con discreción, formando parte de la estructura del diseño, pues es el elemento que más difícil resulta introducir correctamente.

Cuando este elemento se hace presente a través de las fuentes, se confiere un movimiento al jardín, ya que las fuentes son elementos arquitectónicos no estáticos. Tienen además una componente sensorial muy importante, tanto por el sonido del agua, como por la imagen evocadora que generan, especialmente aquellas situadas en los lugares más inaccesibles del jardín.

Mediante los estanques se manifiesta el elemento agua de forma estática, proporcionando belleza y sensación de frescor a través de la lámina de agua. Los estanques, confieren el componente clave de la mayoría de los jardines, es la forma más sencilla de detalle acuático y probablemente la más adaptable. Cuando va acompañado de una cascada o juego de agua (Ilustración 9) se hace aún más atractivo y mágico en cualquier época del año (Utard, 2001; Clevely, 2008; Corral, 2015).



Ilustración 9. Parque Burle Marx-Sao Paulo. Fuente:
<https://jardinessinfronteras.wordpress.com/2017/02/23/jardines-de-latinoamerica-brasil/>

Las cascadas se incorporan además con la intención de oxigenar el agua. Aunque se trata de una operación que requiere mucha habilidad en la concepción, el estilo y la elección de los materiales; llevada a un buen término transforma radicalmente un jardín (Utard, 2001). El agua en movimiento brilla y produce destellos, además de aportar un refrescante sonido, muy apreciado sobre todo en zona de clima cálido. Debido al modo en que la luz brilla en el agua en movimiento, es importante su ubicación en pleno sol. Por otro lado, el sonido producido por el movimiento del agua puede diferir mucho y provocar distintas sensaciones. Así, una pequeña cantidad de agua, por ejemplo un goteo, puede sonar delicado y musical, mientras que un gran volumen, como una cascada o un chorro cayendo desde una fuente potente, producen altos sonidos aportando otras sensaciones distintas (Corral, 2015).

Para la construcción de una cascada se necesita que la zona de agua que vierte desde la cascada esté a una cota superior. Para impulsar el agua es esencial una bomba hidráulica. Los materiales que se pueden utilizar son rocas o piedras. Es preferible utilizar rocas de igual composición pétrea que los materiales de la zona, esto dará un aspecto más natural. Pueden ser rocas calizas o graníticas, mejor rocas “jurásicas” con estrías, fisuras y concavidades, que las procedentes de albero que son mucho más blandas. A la hora de colocarlas se dispondrán y asociarán de forma armónica, evitando líneas rectas y poniendo de base las mayores, dando un aspecto lo más natural posible que, para reforzarlo se puede acompañar de vegetación como helechos y musgos (Utard, 2001; Fernández-Cañero, 2015b).

1.3.2.1. Tipos de estanque, diseño y construcción

Independientemente de su finalidad, un estanque puede ser de diversos tipos. La clasificación más general es:

- **Estanque formal:** Son estanques contruidos a propósito con forma geométrica definida como un círculo, cuadrado o rectángulo. Sus bordes son nítidos y la vegetación suele ser limitada o mínima, pero los peces ornamentales suelen ser totalmente apropiados (Ilustración 10).
- **Estanque informal:** La intención de estos estanques es ser más naturales y resultan muy atractivos cuando se construyen bien. Suelen ser más orgánicos en sus formas y están rodeados de rocas, piedras y plantaciones para atraer y mantener vida animal (Ilustración 11) (Clevly, 2008; Fernández-Cañero, 2015b).



Ilustración 10. Estanque formal (Alhambra, Granada). Fuente: Propia



Ilustración 11. Estanque informal. Fuente: Fernández-Cañero, 2015

Antes de comenzar la construcción del estanque se debe tener en cuenta diferentes factores como:

- **Elegir el lugar de emplazamiento adecuado:** Elegir la zona más baja del jardín, donde la lluvia desagua de forma natural, pero evitando zonas inundables.
- **Tener en cuenta la exposición al sol,** ya que la luz es esencial para mantener el agua en buena calidad. Además, la mayoría de plantas acuáticas necesitan mínimo 6 horas de luz solar. Tampoco es recomendable si permanece todo el día expuesto al sol, pues proliferarían algas, por lo tanto, reservar una zona del

estanque para colocar plantas de talles altos que lo protejan al menos durante unas horas es recomendable.

- **Evitar realizar la construcción junto a árboles de hoja caduca**, ya que se requerirá un mantenimiento más habitual.
- En todos los estanques, a excepción de los más naturales, puede ser necesario **restaurar el nivel del agua** durante el verano, por lo que resulta importante tener un acceso a una toma de agua, al igual que tener acceso a una red eléctrica si se va a incorporar una bomba o luces (Utard, 2001; Clevely, 2008).

A continuación se procede al diseño y excavación, y dependiendo del tipo de construcción que se lleve a cabo, se puede diferenciar entre:

- **Estanques apisonados o compactados**: son realizados con el mismo suelo donde se ha excavado el hoyo. El mejor tipo es el que contiene arcilla y es compactado porque retiene bien el agua.
- **Estanques de lámina flexible de polietileno (PE) o de PVC**: Es el material más fácil de colocar y se amolda al terreno. Anteriormente se ha explicado su instalación.
- **Estanques de obra**: Es uno de los métodos más complicado, ya que se debe conseguir una capa de hormigón de suficiente espesor y la presión de agua puede terminar agrietándolo.
- **Estanques prefabricados**: Son unidades moldeadas de diverso tamaño y forma, fabricada en plástico flexible o reforzado (Utard, 2001; Swindells, 2009).

1.3.2.2. Mantenimiento de estanques

Lo principal en un estanque para contribuir al equilibrio ecológico es realizar una serie de labores preventivas que ayudan a mantenerlo. Además, si un estanque está bien concebido (emplazamiento, volumen de agua, fauna y flora) se puede conseguir un equilibrio biológico perfecto sin la menor filtración, incluso en aguas estancadas. Los medios preventivos y curativos que se pueden realizar son los siguientes:

- **Filtrado mecánico del agua:** El agua pasará a través de masas filtrantes (esponjas, perlón...) por medio de una bomba sumergida que la impulsa. El filtro deberá ser limpiado con regularidad.
- **Filtrado biológico del agua:** Se trata de un refugio para que las bacterias proliferen y éstas puedan convertir los nitritos tóxicos en nitratos asimilables para las plantas.
- **Filtro UV:** Para evitar la aparición de microalgas se utiliza la luz de onda más corta que corresponde a la más dañina y energética.
- **Filtrado natural:** Es un método eficaz y sencillo. El agua con impurezas pasa a una zona de decantación donde hay vegetación palustre. Estas plantas, suministran el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica contenida en el agua, y lo realizan a través de la fotosíntesis o por inyección directa hacia las raíces. Este proceso de oxigenación también favorece al desarrollo de bacterias nitrificantes que contribuyen a la depuración del agua.
- **Medio curativo manual:** extracción de algas verdes con una herramienta de recoger hojas.
- **Medio curativo químico:** Utilizar alguicida respetando la dosis de toxicidad.

Además de mantener el equilibrio biológico del estanque para evitar que el color del agua se vuelva verdoso entre otros problemas, se realizan otras tareas, algunas de ellas dependen de la estación del año:

- **Aporte de agua,** siendo más primordial en época estival debido a la mayor evapotranspiración.
- **Vaciado y limpieza** del estanque: Es una labor de mantenimiento poco frecuente, y en el caso de realizarse nunca se debe dejar el estanque vacío por completo, para que de este modo el equilibrio biológico pueda restablecerse.
- **Limpieza** del estanque a través de la expulsión del cieno que se acumula en el fondo. Se realiza mediante una bomba de succión. Es aconsejable realizar la limpieza en primavera y siempre antes asegurándose que los peces hayan salido del letargo.
- **Plantación** de plantas acuáticas y de rivera.

- En verano, en el caso de no tener cascada, **agitar el agua** para oxigenarla, es fundamental para los peces y plantas.
- En otoño e invierno, cuando empiezan a bajar las temperaturas, **trasladar las plantas** acuáticas a un estanque interior para evitar las heladas. También en esta época, mantener la superficie del estanque libre de hojas muertas.
- **Plantar** bulbos y flores bienales en otoño (Utard, 2001; Swindells, 2009).

1.3.3. Peces ornamentales y vegetación

Los estanques, además de la función decorativa, acogen plantas acuáticas y peces. Los estanques ofrecen la oportunidad perfecta para cultivar plantas de especies que no pueden ser cultivadas en otros lugares. Las plantas acuáticas son muy especiales. Además de decorar, contribuyen al bienestar de todas las criaturas que viven en él, pues un estanque es un ecosistema reducido donde todas las entidades vivas dependen una de otra para su existencia continua.

Las plantas sumergidas producen oxígeno y compiten con las algas por las sales minerales en el agua, mientras que las acuáticas flotantes proporcionan sombra para los peces y reducen la incidencia de malas hierbas al negarle luz. Las plantas acuáticas de aguas profundas, como los nenúfares (*Nymphaea* spp.), hacen un trabajo similar, pero sobre todo se cultivan por sus bellas flores (Ilustración 12). Las cañas, juncos y otras plantas marginales decoran los bordes del estanque pero también albergan innumerables formas de vida silvestre.



Ilustración 12. Estanque con nenúfares (Alhambra, Granada). Fuente: Propia

En el agua, los peces y los caracoles depositan nutrientes en beneficio de las plantas, mientras que también controlan muchas de las plagas de insectos que se alimentan de ellas. Gracias a los nuevos sistemas de filtración, se puede garantizar la salud de poblaciones bastante grandes en circunstancias relativamente limitadas (Swindells, 2002).

1.4. Jardines verticales

La jardinería vertical hace referencia al cultivo y crecimiento de plantas en un plano vertical. Comprende desde los tradicionales patios con macetas colgadas en la pared, “fachadas verdes” con plantas trepadoras que están enraizadas en el suelo, hasta los innovadores jardines verticales (Fernández-Barba, 2010).

La naturación urbana ha formado parte de la historia del ser humano, ya que constantemente ha existido la relación hombre-naturaleza. Debido a la falta de espacio por el crecimiento y desarrollo desmesurado de los núcleos urbanos, actualmente resulta complicado establecer zonas destinadas a la vegetación en las ciudades; por ello, se han extendido formas alternativas que permiten la incorporación de masa vegetal a la vida urbana en espacios que han sido poco valorados para el crecimiento de vegetación; como son las envolventes de los edificios, ya sea en plano horizontal, inclinado o vertical (García-Villalobos, 2009), proporcionando un rasgo arquitectónico ecológica y estéticamente adecuado para la mejora de la fachada. Gracias al uso de este tipo de jardinería se evita que las zonas urbanas densamente pobladas se transformen en un entorno deteriorado (Mohamed-Sheweka y Magdy-Mohamed, 2012).

1.4.1. Historia

Los indicios más antiguos conocidos de la jardinería vertical se remontan en la antigua Mesopotamia. Los denominados Jardines Colgantes de Babilonia están considerados una de las mayores maravillas del mundo antiguo, fueron construidos probablemente alrededor de 600 a.C. y cubrían un área de 2000 m². El jardín estaba formado por árboles, arbustos florecientes, plantas trepadoras y jardines de especias. Estos jardines han sido un referente para desarrollos posteriores (de la Cadena, 1998).

La práctica de cultivar plantas trepadoras en las fachadas de los edificios ha sido común durante muchos siglos, sobre todo con el propósito decorativo. En el siglo XIX, en muchas ciudades europeas y algunas norteamericanas, las plantas trepadoras se usaban con frecuencia como cubierta para fachadas sencillas (Köhler, 2008). Rara vez alcanzaron más de dos pisos de altura, salvo excepciones donde se usaban especies auto-adherentes como la enredadera de Virginia (*Parthenocissus tricuspidata*), que ha tenido un uso muy localizado en determinadas regiones geográficas. Esta es una práctica que se ha establecido en muchas partes de Europa, y es bastante común ver casas en Francia y Alemania cubiertas de estas enredadera o en las regiones con un

clima más influenciado por el Mediterráneo. Tradicionalmente, las enredaderas auto-adherentes se han utilizado con mayor frecuencia, ya que no requieren ninguna red de apoyo de alambres o enrejado. La glicinia, concretamente la especie *Wisteria sinensis*, aunque no es trepadora auto-adherente, fue una de las más utilizadas para cubrir fachadas, ya que tiene un crecimiento vigoroso y puede alcanzar más de un siglo de edad. Es una planta muy popular en jardinería debido al color de sus flores azul-violeta y a su gran vigor (Dunnett y Kingsbury, 2004).

En los países de habla alemana en los primeros años del siglo XX, el ajardinamiento de fachada formó parte de un movimiento de integración jardín-casa. En el mismo momento, surgió un movimiento análogo en Gran Bretaña con la intención de integrar las casas más alejadas a las zonas residenciales de verdor. Las pérgolas y otras estructuras que conectaban las características arquitectónicas y las plantas trepadoras eran características cada vez más comunes en los jardines y parques de toda Europa occidental, pero sólo en los países de habla alemana y hasta cierto punto en Francia las trepadoras utilizadas en edificios. Esta tendencia fue decayendo a partir de los años 30 por el continuo mantenimiento que éstas requerían (Dunnett y Kingsbury, 2004).

Como pionero del enverdecimiento doméstico se debe nombrar a Friedensreich Hundertwasser, que diseñó la famosa “Vivienda Hundertwasser”, no sólo sembrando trepadoras que crecen por la fachada y árboles en la cubierta, sino que llevó a cabo la idea del árbol como inquilino (Minke, 2012).

En Europa Central en la década de 1980 el creciente interés por los temas ambientales trajo consigo el desarrollo de nuevas tecnologías para el ajardinamiento vertical. En muchas ciudades alemanas se desarrollaron programas incentivos, algunos de los cuales apoyaron iniciativas de plantar y mantener plantas trepadoras y enredaderas en patios traseros y fachadas. A raíz de ello, se han realizado numerosas investigaciones que abarcan temas relacionados con los beneficios que proporciona la naturación urbana de edificios (Köhler, 2008).

En la última década ha surgido la versión más moderna y tecnificadas de la jardinería vertical, conocida con el nombre de ‘living wall’, en español “muro vegetal” (Ilustración 13). El proyecto que inició esta nueva tendencia fue realizado en 2004 en la fachada principal del museo Qua Branly en París, a manos del prestigioso botánico francés Patrick Blanc, que desde entonces se ha convertido en un referente de la jardinería vertical a nivel mundial (Fernández-Cañero *et al.*, 2015).



Ilustración 13. Jardín vertical CaixaForum (Madrid). Fuente: Propia

1.4.2. Tipos de jardines verticales

La jardinería vertical abarca diferentes tipos de sistemas, que como se ha comentado anteriormente, se han ido desarrollando a través de la historia.

La jardinería tradicional es la que se ha usado durante siglos, principalmente en forma de plantas trepadoras que están arraigadas al suelo o a algún medio de cultivo, con o sin soporte de apoyo, extendiéndose de forma vigorosa por las fachadas dando una apariencia verde al ambiente (Dunnett y Kingsbury, 2004). Este sistema se conoce con el nombre de fachada verde y constituye un sistema pasivo de jardinería vertical.

Los sistemas pasivos no cubren la fachada por completo y tienen un lento crecimiento por lo tanto poca posibilidad de diseño, con la ventaja de que son sistemas de bajo coste (Hidalgo-Romero, 2016).

Dependiendo de la vegetación utilizada en la fachada verde, se requerirá o no de un sistema de ayuda. Cuando se usan plantas trepadoras que han desarrollado un mecanismo de auto sujeción no hace falta una red de apoyo de alambres de acero o enrejado y éstas irán acopladas directamente a la superficie del edificio. En caso contrario, será necesario un soporte de ayuda, como bien se manifiesta en la construcción del jardín MFO Park de Zurich, formado por una doble pared de cables de acero tensionados que simulan el aspecto de una pérgola.

Ya que el enverdecimiento de la fachada es esencialmente un sistema de revestimiento vivo, está en continuo crecimiento. Esta práctica de ajardinamiento se ha asociado al daño material de la fachada, a la atracción animal y a los costes de mantenimiento (Dunnett y Kingsbury, 2004; Pérez *et al.*, 2011; Pérez-Urrestarazu *et al.*, 2015).

Además, otro método convencional, similar a los tradicionales patios cordobeses, consiste en usar contenedores o jardineras suspendidas con plantas cultivadas que caen en forma de cascada, cubriendo así la pared del edificio.

En los últimos años, se están desarrollando diferentes sistemas constructivos que permiten el enverdecimiento de las fachadas de los edificios, que han evolucionado en la técnica y conceptualmente con respecto a los tradicionales (Pérez *et al.*, 2011).

La nueva tendencia de jardinería vertical, los muros vegetales, surgen como consecuencia de la escasa disponibilidad de terreno en la búsqueda de incluir vida natural en el día a día de las personas. Se tratan de composiciones de plantas que quedan enraizadas en compartimentos entre láminas de material fibroso, creciendo sin ningún tipo de suelo, como hacen las epifitas, cubriendo fachadas que serán irrigadas y nutridas artificialmente mediante sistemas hidropónicos. Como pionero de este método se presenta Patrick Blanc, citado en el apartado anterior, que ha diseñado varias fachadas que adornan sobre todo museos, hoteles, comercios y bancos (Blanc, 2008; Minke, 2012).

Teniendo en cuenta los diferentes sistemas de construcción de los muros vegetales que se encuentran en el mercado, se pueden establecer diferentes grupos dependiendo de cómo se hace el verde de la fachada de un edificio o construcción.

Para la construcción del muro vegetal, se puede utilizar un sistema superficial o de fieltro; o en otro caso, un sistema modular, que consiste en módulos fabricados en acero galvanizado, polietileno o paneles de fieltro entre otros. Ambos tipos incluyen un sustrato que debe proporcionar el apoyo físico para el crecimiento de las plantas y las condiciones adecuadas para la distribución y uniformidad del agua dentro del sistema.

Puede tratarse de un sustrato orgánico (tierra vegetal, sphagnum, fibra de coco) o en caso contrario ser un sistema hidropónico (sustrato inerte) (Pérez *et al.*, 2011; Hidalgo-Romero, 2016).

En conclusión, de forma general, todos los muros verdes son sistemas más complejos que implican una estructura metálica que les sirve de soporte y está anclada a la pared, pudiendo soportar una gran variedad de especies vegetales. El jardín vertical está separado de la pared del edificio por una lámina impermeable que evita problemas de humedad que puede provocar el medio de cultivo, formado por una capa de geotextil con una gran capacidad de retención de agua y una capa de fibra sintética que sirve de soporte de los sustratos y por la cual las plantas se fijan, facilitando de este modo la aireación del sistema radicular. Una red de riego es obligatoria en este tipo de sistemas, ya que debido a que se trata de un plano vertical, la capacidad de almacenamiento de agua es baja, con lo cual, el agua disponible para las plantas solo será la retenida por el sustrato, que deberá ser mantenido húmedo constantemente para garantizar las condiciones adecuadas para el crecimiento y establecimiento de las plantas. También es necesario un sistema de fertirrigación. El sistema de iluminación artificial solo será necesario en el caso de que no se posea suficiente luz natural. Por último, un sistema de control y automatización son opcionales (Loh, 2008; Francis y Lorimer, 2011; Fernández-Cañero *et al.*, 2015; Pérez-Urrestarazu *et al.*, 2015).

Los jardines verticales activos, conocidos con el término de “Biowall”, además de los sistemas mencionados anteriormente, incorporan una instalación de impulsión de ventilación, que induce el paso del aire a través de su superficie, de manera que actúan como potentes biofiltros depurando y refrigerando el aire interior de la edificación (Ilustración 14). Esta tecnología se presenta como alternativa a la ventilación tradicional para el control de la calidad de aire interior y el ahorro energético de las edificaciones (Darlington *et al.*, 2000).

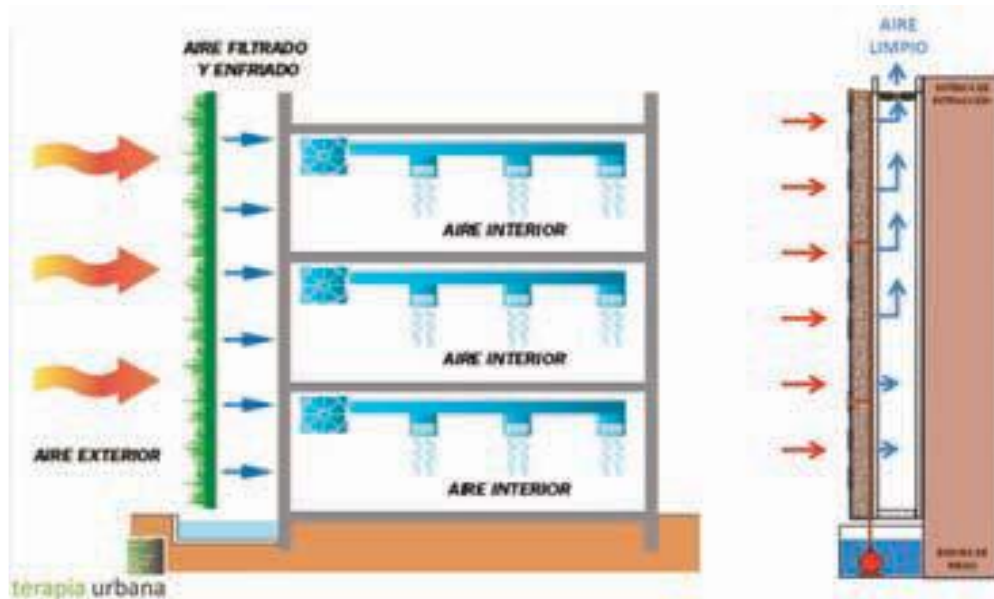


Ilustración 14. Esquema del funcionamiento de un jardín vertical activo. Fuente: Fernández-Cañero et al., 2015

A pesar de todos los sistemas de muros vegetales existentes, todos ellos se agrupan bajo el nombre común de “Jardín vertical” (Pérez *et al.*, 2011).

1.4.3. Beneficios de los jardines verticales

Desde el principio de la existencia humana, el hombre ha pretendido claramente alterar su microclima, a un ambiente más agradable, protegiéndose de condiciones climáticas extremas al adaptando la construcción a las necesidades (Alexandri y Jones, 2008).

La naturación urbana parece ser una estrategia sensata para las ciudades verdes. Se trata de una tecnología que proporciona numerosos beneficios dependiendo del tipo de sistema de naturación al que nos referimos. Con la combinación de techos verdes y jardines verticales conseguimos potenciar los beneficios que ambos tienen, generando a su vez otros de forma indirecta, pero todos ellos abarcan aspectos ambientales, arquitectónicos, constructivos, estéticos y económicos (Bass y Baskaran, 2001; Alexandri *et al.*, 2008; García-Villalobos, 2009). Además de todos los beneficios que aportan, constituyen una manera muy impactante de transformar el paisaje urbano (Newton y Johnston, 2004).

A diferencia de otros elementos constructivos, las superficies vegetales son elementos vivos que interaccionan con el ambiente y el edificio de maneras muy diversas, lo que supone efectos tan significativos como los siguientes:

- **Reducción del efecto isla de calor urbano.** Las superficies impermeables como las fachadas y las calles influyen en el microclima alrededor de la ciudad aumentando las temperaturas alrededor de los edificios y consecuentemente aumentando la cantidad de energía usada para condicionar. La vegetación contribuye a la mezcla vertical del aire, por lo que la temperatura sobre los edificios tiende a ser más baja que en las áreas circundantes construidas. El aire caliente se eleva sobre las superficies duras y es reemplazado por el aire fresco y reduce el efecto de la isla de calor (Newton y Johnston, 2004; Mohamed-Sheweka y Magdy-Mohamed, 2012).

Además, la naturación, directamente sombreando las superficies absorbentes de calor y mediante refrigeración por evapotranspiración, disminuye el efecto isla de calor. Las plantas cuentan con un mayor albedo en comparación a una cubierta sin naturación, lo que hace que se absorba menor radiación solar. Del total de la energía solar incidente, las plantas absorben para la fotosíntesis aproximadamente del 5 al 20%, reflejan entre 5 y 20%, disipan por evapotranspiración del 20 al 40%, emiten entre 10 y 15% y transmiten en el orden del 5 al 30% (Mohamed-Sheweka y Magdy-Mohamed, 2012; Olivieri y Bedoya, 2015).

- **Reducen la temperatura.** Los jardines verticales pueden aportar un enfriamiento potencial en la superficie de los edificios, lo cual es muy importante durante el periodo de verano en climas cálidos. Este efecto de enfriamiento de las fachadas verdes también tiene un impacto en el clima interior del edificio, al prevenir el calentamiento de la fachada. Como sucede con el efecto de la isla de calor, a través de la evapotranspiración, grandes cantidades de radiación solar pueden convertirse en calor latente que no provoca que la temperatura aumente. Además, una fachada totalmente cubierta de vegetación está protegida de la radiación solar intensa en verano y puede reflejar o absorber en su cubierta foliar entre el 40% y el 80% de la radiación recibida, dependiendo de la cantidad y el tipo de vegetación (Mohamed-Sheweka y Magdy-Mohamed, 2012; Olivieri y Bedoya, 2015).
- **Reducen la demanda energética de calefacción y refrigeración.** Las islas de calor pueden afectar a las comunidades aumentando la demanda máxima de energía durante el verano. Tanto la sombra creada por las plantas como el efecto de la refrigeración influyen en el consumo energético del edificio, convirtiéndose en un verdadero aire acondicionado pasivo, consiguiendo ahorros en el consumo de electricidad del 5 % al 10 % (Köhler, 2008; Mohamed-Sheweka y Magdy-Mohamed, 2012; Olivieri y Bedoya, 2015).

- **Mejora de la calidad del aire, tanto local como global.** Existe una relación directa entre “smog” (niebla tóxica) y temperatura del aire, ya que el aire caliente transporta contaminación y partículas. La reducción del “smog” puede desencadenarse a través de la reducción de temperatura o disminuyendo las partículas suspendidas en el aire. La vegetación retiene polvo, partículas y sustancias contaminantes presentes en el aire del ambiente, por medio de la adhesión. Las plantas llegan a filtrar hasta el 85% de las partículas del aire, además captan CO² y liberan oxígeno. Además existen algunas especies que pueden absorber partículas nocivas, como metales pesados que se presentan en forma de gas y aerosoles en las zonas urbanas (Dinsdale *et al.*, 2006; García-Villalobos, 2009).
- **Reducción del ruido en el entorno urbano.** La vegetación sirve como barrera acústica. Las plantas reducen el ruido mediante absorción (transformación de la energía sonora en energía de movimiento y calórica), reflexión y deflexión (dispersión) (García-Villalobos, 2009).
- **Creación de hábitats y protección de la biodiversidad en el entorno urbano.** Los jardines verticales pueden proporcionar lugares de descanso y alimentación para aves, invertebrados e incluso pequeños mamíferos. Ver estos animales puede ser una fuente de placer considerable para los habitantes de la ciudad (Newton y Johnston, 2004).
- **Beneficios sociales.** Desde el punto de vista social y psicológico, las áreas verdes en espacios urbanos presentan una serie de beneficios a través de la creación de atractivas visuales dentro de las zonas urbanas, aumentando así, la calidad de vida urbana (Machado *et al.*, 2000). Además, la presencia de vegetación en las ciudades, hogares y oficinas ha sido durante mucho tiempo conocido por tener efectos psicológicos positivos en los seres humanos. Un estudio realizado por el laboratorio de investigación sobre el medio ambiente humano mostró que las comunidades con mayores cantidades de espacio verde tenían "un mayor sentido de comunidad, menor riesgo de delincuencia callejera, menores niveles de violencia y una mejor capacidad para hacer frente a las demandas de la vida" (Dinsdale *et al.*, 2006).
- **Los jardines verticales y techos verdes constituyen una nueva oportunidad para la agricultura.** Aprovechan las oportunidades tales como el apoyo de la economía local en términos de crecimiento, procesamiento y distribución de alimentos, productos frescos para la ciudad y algunos ingresos. Un ejemplo de

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

esto es el Fairmont Waterfront Hotel en Vancouver que tiene un techo verde que crece hierbas, flores y verduras (Ilustración 15) (Dinsdale *et. al.*, 2006).



Ilustración 15. Fairmont Techo verde de Waterfront Hotel (Vancouver). Fuente:
http://www.ryerson.ca/carrotcity/board_pages/rooftops/fairmont.html

1.5. Objetivos

El objetivo general del proyecto fue:

- Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior.

Los objetivos específicos del proyecto fueron:

- Diseño de un sistema de acuaponía compuesto por un estanque ornamental y un jardín vertical exterior.
- Construcción y mantenimiento de dicho sistema.
- Análisis del funcionamiento inicial, estudiando los parámetros más importantes relacionados con la calidad de agua del estanque y el óptimo desarrollo de las plantas en el Jardín vertical.
- Evaluación de la opinión de los alumnos de la ETSIA sobre la combinación de jardines verticales con acuaponía.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1. Situación de partida

La zona de estudio donde se ha desarrollado el proyecto, está situada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) en la Universidad de Sevilla, ubicada en Ctra. Utrera Km. 1, Sevilla (Ilustración 16).

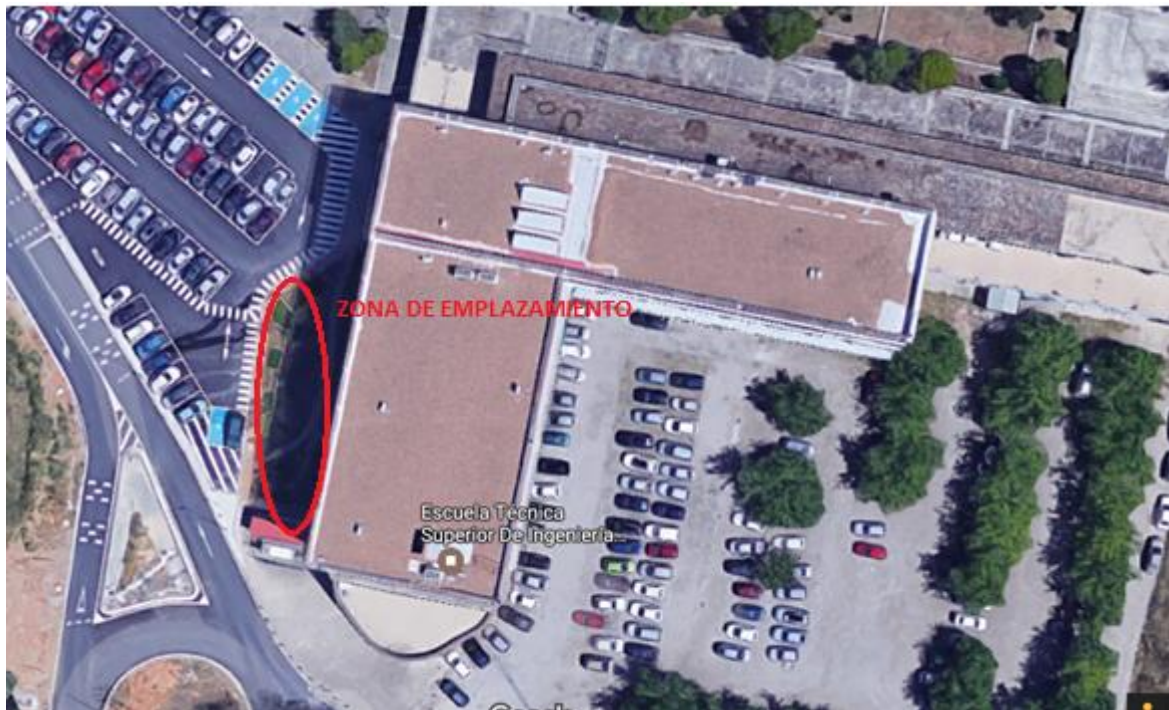


Ilustración 16. Zona de emplazamiento. Fuente: Google Earth

Se trata de una parcela ajardinada con un estanque central de 371,50 m² en total, situada en la parte delantera del edificio principal de la escuela. El ajardinamiento de dicha parcela se ha realizado como parte de un Proyecto de Innovación Docente denominado “Creación y uso de un jardín agrícola como recurso educativo interdisciplinar” (Ilustración 17).

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”



Ilustración 17. Zona de emplazamiento “Proyecto de Innovación Docente”. Fuente: Google Earth

2.1.1. Instalaciones existentes

Estanque

El estanque está situado en la zona central del jardín y cuenta con una superficie de 20,4 m². Su diseño es informal y abarca un perímetro de 19,5 m. Existen principalmente dos niveles con una ligera pendiente, uno de 30 cm y otro de 1 m de profundidad aproximadamente, en este último hay instalada una bomba que impulsa el agua hacia el vaso superior construido (Ilustración 18) y tiene una capacidad de 5500 litros aproximadamente (Anexo I y Anexo II).

El estanque fue construido de forma manual. En toda su superficie cuenta con una base de geotextil y está revestido con una lámina flexible de PE.

Alrededor del estanque está construida una pequeña zanja cubierta de grava que sirve para reducir la entrada de sedimentos al agua producidos por la erosión del jardín provocado por las lluvias.

La orilla del estanque se encuentra rodeada de plantas como *Ajuga reptans*, *Cyperus papyrus*, *Festuca glauca*, *Nerium oleander* ‘Nana’ y *Rosmarinus officinalis* ‘Postratus’ entre otras, que también sirven para frenar la erosión (Ilustración 18).



Ilustración 18. Bomba en zona profunda del estanque y vegetación de la orilla. Fuente: Propia

Instalaciones hidráulicas y eléctricas

La parcela dispone de un punto de agua potable que procede de la red y está situada en la pared del edificio junto a la zona donde se instala el jardín vertical (Anexo I).

El punto de conexión eléctrica se localiza junto al estanque y procede del edificio principal de la ETSIA. La corriente es conducida por un cable que se encuentra bajo tierra y está protegido con un tubo corrugado que queda descubierto a la altura del estanque proporcionando dicho punto de conexión.

2.1.2. Condicionantes de partida

2.1.2.1. Condicionantes climáticos

La caracterización del clima de la zona donde se desarrolla el proyecto se ha obtenido a partir de la clasificación climática realizada en el estudio elaborado por Molina (2015), cuyo ámbito geográfico es coincidente con el presente proyecto. En este estudio se ha tenido en cuenta los datos climáticos del período 1981-2010 obtenidos de la estación “Sevilla Aeropuerto”.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

En el estudio climático se utiliza la clasificación agroecológica de Papadakis, ya que según afirma el autor “esta clasificación se realiza desde el punto de vista de la ecología de los cultivos y el tipo climático quedará determinado por un régimen térmico y un régimen de humedad” (Molina, 2015). De este modo, queda clasificado de la siguiente forma:

- **Rigor del invierno:**

Mes más frío: Enero

Temperatura media de las mínimas absolutas del mes más frío: -4,4 °C.

Temperatura media de las mínimas del mes más frío: 5,7 °C.

Temperatura medida de las máximas en el mes más frío: 16 °C.

- **Calor del verano:**

Mes más cálido: Julio

Temperatura media de las máximas del mes más cálido: 36 °C

Temperatura media de las mínimas del mes más cálido: 20,3 °C.

Teniendo en cuenta de que se trata de un invierno tipo AVENA (cálido) y un verano tipo GOSSIPUM (G), se obtiene la clase térmica de la zona: clima SUBTROPICAL CÁLIDO.

La zona se encuentra dentro de un clima Mediterráneo, caracterizado por su sequedad estival y sus suaves temperaturas invernales.

En cuanto a las precipitaciones, la zona se clasifica como ZONA ÁRIDA según el factor pluviométrico de Lang y el índice de Dantin-Revenga.

Las temperaturas se tienen en cuenta a la hora de realizar la selección de especies vegetales y se tiene especial atención en la evaporación del agua del estanque. En cambio, las precipitaciones, no son información relevante para la selección vegetal ya que el jardín vertical se encuentra ubicado en una zona techada, por lo que es necesario realizar la instalación de una red de riego.

2.1.2.2. Condicionantes ambientales en la zona

La pared donde se instala el jardín vertical está ligeramente orientada hacia el norte con cierta inclinación al oeste (Anexo I), por lo tanto el sol no incide de forma directa, salvo en los meses de verano en la parte derecha a partir de las siete de la tarde. La

iluminación disminuye en la zona a medida que nos desplazamos hacia la izquierda y al ser una zona techada, las plantas se encuentran resguardadas de heladas y vientos (Ilustración 19).



Ilustración 19. Módulos del jardín vertical con mayor iluminación en la parte derecha. Fuente: Propia

2.1.2.3. Condicionantes del agua del estanque

El estanque que se conecta con el jardín vertical, parte de un estado que se intentará mejorar con el sistema acuapónico. El agua se encuentra estancada, sin movimiento y con un alto contenido de lodo y cieno en el fondo y residuos sólidos en la superficie. También presenta un color verdoso debido a las algas microscópicas y la falta de reposiciones de agua y oxidación. Al principio, antes de comenzar con la instalación del sistema, se realizó una medida de pH que alcanzó 9.9 y una medida para determinar el contenido en nitratos en el agua que nos indicó 6 ppm. Se pretenden alcanzar unas condiciones en el agua que permitan la vida de peces y plantas del jardín vertical.

2.1.3. Materiales biológicos

Los materiales biológicos que ya formaban parte del sistema donde se ha desarrollado el proyecto son los peces ornamentales que habitan en el estanque, junto con las plantas acuáticas.

2.1.3.1. Peces presentes en el estanque

Los peces que habitan en el estanque se alimentan de algas y pequeños seres vivos, con la ventaja de que no dañan las plantas acuáticas (Utard, 2001). Su alimentación es complementada con pienso que se le proporciona periódicamente (aproximadamente 3 días a la semana). Además de peces, en el estanque se pueden observar ranas y huéspedes espontáneos como aves, coleópteros y libélulas entre otros.

A continuación se detallan las características biológicas de cada uno de los peces que habitan en el estanque: Carpa dorada (*Carassius auratus*) ‘Cometa’ y ‘Shubunkin’ ,y guppies (*Poecilia reticulata*).

Carassius auratus

Carpín dorado, carpa dorada, pez rojo o goldfish

TAXONOMÍA

CLASE: Actinopterygii

ORDEN: Cypriniformes

FAMILIA: Cyprinidae



Ilustración 20. Ejemplar de Goldfish. Fuente: <https://nas.er.usgs.gov/queries/factsheet.aspx?SpeciesID=508>

DESCRIPCIÓN

Es un ciprínido que raramente supera los 30 cm de longitud (Ilustración 20). La talla máxima conocida es 45 cm de longitud total y 2 kg de peso y la edad máxima de 30 años. El tamaño de la cabeza es relativamente grande comparado con el tamaño del cuerpo. La boca pequeña y terminal no tiene barbillas sensoriales. Su aleta dorsal es alargada y suavemente cóncava y tiene entre 25-35 escamas en la línea lateral. La aleta pélvica es corta y ancha y la caudal es de gran tamaño. El color varía en las formas silvestres entre un tono castaño-verdoso y dorado, existiendo formas con colores y aspectos llamativos empleadas como ornamentales. Las características externas son muy similares a las de *Carassius carassius*, especie que no está presente en nuestras aguas y de la que se diferencia por el número de branquispinas (Linnaeus, 1978).

BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA

Habita en aguas templadas y frías, aunque soporta temperaturas de 10 a 30 °C, siendo 20 °C su óptimo. Aguas de poca o nula acidez (con pH de 7.0 a 7.5, ligeramente alcalino). Es una de las pocas variedades que pueden habitar en estanques al aire libre, pero evitando excesos de luz solar directa, y puede aguantar las bajas temperaturas, es un pez muy resistente. Prefiere aguas poco profundas de lagunas y ríos de corriente lenta, con abundante vegetación y fondos blandos, encontrándose generalmente en las orillas. Es un pez resistente que puede subsistir en condiciones muy desfavorables como contaminación de aguas, falta de oxígeno y fríos invernales, que no pueden soportar otras especies. Durante el invierno, al igual que las carpas, permanecen casi completamente enterrados en el barro, limitando mucho su actividad hasta que llega la primavera. Cuando están en un acuario o un estanque, pueden soportar niveles altos de nitratos (NO₃⁻) pero a la larga terminan enfermando por ello se debe oxigenar el agua. En cuanto a la alimentación, es un pez omnívoro, se alimenta desde algas a invertebrados bentónicos. Su comportamiento es pacífico, soliendo vivir en grupo con los de su especie, aunque puede coexistir con otros peces (Linnaeus, 1978; Lobón-Cerviá *et al.*, 1989).

REPRODUCCIÓN

La freza se produce en aguas con densa vegetación sumergida en mayo-junio. En el caso de poblaciones en que todos sean hembras, la reproducción se realiza por gimnogenesis, los huevos necesitan para su desarrollo sólo el estímulo del esperma de

un macho de otra especie. Los individuos que nacen son por tanto clones de sus madres.

DISTRIBUCIÓN

Originario de Asia Central, China y Japón, descendiente de la carpa *Carassius carassius*, aparece hoy en aguas de unos sesenta países de todos los continentes. En Europa parece estar en expansión y se considera autóctona en algunos países del Centro y Este. En España se distribuye prácticamente por todas las cuencas.

A consecuencia de los múltiples cruces, se han conseguido numerosas variedades como ‘Shubunkin’ y ‘Cometa’, ambas variedades, además de la común, están presentes en el estanque y con las siguientes características:

‘Cometa’

Cometa es la variedad más común de Goldfish y surgió en Estados Unidos. Se caracteriza por su cuerpo alargado y elegante y con aletas más desarrolladas que el resto de variedades. Tiene una sola aleta anal y una caudal bifurcada. El resto de sus aletas tienen una forma ligeramente puntiaguda (Ilustración 21).



Ilustración 21. Ejemplar de pez ‘Cometa’. Fuente: <https://img.depeces.com/wp-content/uploads/2012/07/5.jpeg>

Los cometas son extremadamente activos y voraces, de nado muy rápido, por lo que si se mezclan con variedades de nado lento estarían en desventaja a la hora de alimentarse. Pueden alcanzar un tamaño máximo de 20 cm y la esperanza de vida es desde 7 a 14 años.

Habitualmente son de color rojo o rojo y blanco pero se encuentran en gran cantidad de coloraciones.

Los cometas son posiblemente la variedad más resistente que existe, pero lo que sí necesitan es tener mucho espacio, no solo por el gran tamaño que pueden alcanzar sino porque son muy activos y necesitan nadar con soltura y no sentirse estresados (Vetešník, 2002).

‘Shubunkin’

Se extendió por Inglaterra adquiriendo una gran popularidad ya que se adapta muy bien al agua fría.



Ilustración 22. Ejemplar de pez ‘Shubunkin’. Fuente: <https://www.depeces.com/peces-shubunkins.html>

El Shubunkin es un pez de cuerpo alargado y esbelto, de coloración calicó (fondo azulado, con parches en colores violeta, rojo, naranja, amarillo y café, con pequeñas manchas negras (Ilustración22). La profundidad del cuerpo es aproximadamente el 40 % del largo de su cuerpo. Las aletas pectorales y ventrales deben estar en pares.

Cuenta con una sola aleta anal y caudal sencilla y esparcida. Alcanzan como máximo 15 cm. y su expectativa de vida entre 10-20 años (Chinchayán-Robles *et al.*, 1993).

Poecilia reticulata

Guppy

TAXONOMÍA

CLASE: Actinopterygii

ORDEN: Cypriniformes

FAMILIA: Poeciliidae

DESCRIPCIÓN

Es una especie de pequeño tamaño con un fuerte dimorfismo sexual las hembras más grandes no superan los 50 mm mientras que los machos no alcanzan los 35 mm de longitud total. Su forma y coloración es muy variable existiendo numerosas formas cultivadas, aunque el macho tiene mucho más colorido que la hembra, manchas negras en el cuerpo y coloraciones rojizas o azuladas, y la aleta anal plegada en forma de tubo convirtiéndose en un órgano sexual llamado gonopodio (Ilustración 23).



Ilustración23. Ejemplar Guppy macho. Fuente:
<http://www.elmundodelosanimales.com/animales/guppy/guppy.php>

BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA

Muy pocas poblaciones estables. Prefiere aguas cálidas de 20-24 °C, con pH entre 7.0-7.5, habitan en ríos, arroyos y canales con abundante vegetación. Sin embargo, es poco exigente en cuanto a la salinidad del agua su turbidez o la altura sobre el nivel del mar. Son sensibles a los nitratos. Se alimenta de zooplancton, insectos y detritus. Es una especie ovovivípara. Los machos maduran a los dos meses de edad y las hembras a los tres. En el estanque del proyecto estos peces son introducidos en primavera, y multiplican rápidamente su número a lo largo de los meses de primavera y verano. La bajada de temperaturas de otoño suelen implicar la muerte de todos los ejemplares.

DISTRIBUCIÓN

Su área natural es América del sur. Ha sido introducida en casi todo el mundo, a veces para el control de mosquitos y otras veces escapado accidentalmente de piscifactorías o soltados por particulares. En España se supone introducido por particulares existiendo poblaciones estables en el río Mijares (Peters, 1860).

2.1.3.2. Plantas acuáticas y palustre presentes en el estanque

Las plantas acuáticas y de palustre proporcionan un equilibrio natural al ecosistema además de dar valor ornamental. Oxigenan el agua y ofrecen refugio a los peces proporcionándole sombra además de asimilar las sales minerales contenidas en el agua (Utard, 2001; Swindells, 2009). Están plantadas en cestas de plástico que dejan pasar las raíces al exterior.

***Cyperus papyrus* (Cyperaceae)**

Papiro

Hierba perennifolia, perenne, de porte extendido y con el rizoma rojo. Es una variante enana de la especie citada y que a veces se considera diferente, por lo que recibe distintos nombres. H, 80 cm: A; indefinida. Sensible a las heladas; mín. 7-10 °C. Posee tallos triangulares, áfilos, que sostienen umbelas de espiguillas de color verde, que aparecen en verano sobre tallos de 8-10 cm de largo (Ilustración 24) (Brickell y Cole, 2002).

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”



Ilustración 24. Ejemplar de ‘Cyperus papyrus’. Fuente: <http://archivo.infojardin.com/tema/ficha-de-papiro-cyperus-papyrus.374019/>

***Nymphaea alba* (Nymphaeaceae)**

Nenúfar blanco



Ilustración 25. Ejemplares de nenúfar en el estanque. Fuente: propia

Planta acuática flotante de extrema belleza por sus flores grandes y olorosas. Posee un rizoma rastrero y hojas brillantes, de color verde oscuro, con una escotadura que llega hasta el centro, y de tamaño relativamente grande, que flotan extendidas sobre la superficie del agua. Las flores presentan numerosos pétalos de color blanco marfil que bordean el centro amarillo (Ilustración 25). La floración se prolonga durante muchos meses. Crece bien en aguas quietas y templadas (Brickell y Cole, 2002).

Observación: Los nenúfares muestran preferencia por el sol y la luminosidad. Para que la floración sea abundante, es necesario que el agua esté templada gracias a recibir al menos 5 horas de sol diarias.

Cultivo: Es de crecimiento muy vigoroso, por lo que debe plantarse en recipientes que eviten un desarrollo excesivo.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Material instrumental

Los materiales que se han utilizado en el proyecto se pueden clasificar atendiendo a la actividad que se ha llevado a cabo en la zona de trabajo:

Construcción y montaje del diseño

Para la excavación del vaso situado en la parte superior del estanque se han necesitado palas y palines de punta recta y carrillo de mano para transportar la tierra. En la construcción del muro de contención de aguas se han necesitado barras de hierro corrugado comúnmente conocidas como “gavillas”, un mezclador con varilla, un palustre de punta y una pala. Para la instalación del jardín vertical es necesario disponer de un taladro para anclarlo a la pared y posteriormente fijar los módulos de sustrato a la estructura metálica. Por último, en la plantación se han utilizado palas de aluminio de diferentes tamaño para rellenar los bolsillos con el sustrato, cubos con agua para la limpieza de las raíces de las plantas y de la perlita.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Toma de datos

Se han tomado datos referentes al pH, CE y contenido de nitratos en agua. El pH se ha medido con un ph-metro de sobremesa (Crison, modelo Crison pH METER GLP22) (Ilustración 26) La medición de conductividad eléctrica se ha realizado con un medidor de sobremesa (Crison, modelo Crison Basic 30) (Ilustración 27). Para ambas medidas se han utilizado dos vasos de precipitado de 250 ml de capacidad.



Ilustración 26. pH-metro. Fuente: Propia



Ilustración 27. Medidor de Ce. Fuente: propia

Por último, el contenido de nitrato se ha realizado con un medidor de nitratos portátil (RQflex plus de Merck) junto con tiras reactivas (Reflectoquant de Merck) (Ilustración 28).



Ilustración 28. Medidor de nitratos. Fuente: Propia

Seguimiento del crecimiento de las plantas

Las fotografías se han realizado con una cámara de móvil de resolución 12 Mpx.

Mantenimiento

En el mantenimiento del agua del jardín se ha utilizado una red para eliminar los residuos sólidos sobre la superficie. Además, la limpieza de los lodos del estanque se ha realizado con una aspiradora para estanque con capacidad de 30 l (Pontec Pondomatic).

2.2.2. Operaciones necesarias de mantenimiento

Previamente a la puesta en marcha del funcionamiento del sistema acuapónico, se realizaron varias limpiezas al agua del estanque para reducir las partículas sólidas contenidas en ella, evitando así obturaciones en los goteros y en la bomba, y mejorando la calidad del agua. Con una aspiradora para estanque, nombrada en el apartado anterior, se succionó el cieno y los lodos acumulados en el fondo y se hizo un recambio de un tercio del agua. Esta tarea se realizó dos veces en la primavera anterior a la plantación de la vegetación, durante el mes de mayo y junio, y se volvió a repetir en el mes de noviembre. Además, para mantener una limpieza constante, con la ayuda de la red, se retiraron la mayor parte de algas filamentosas del fondo para evitar que se desoxigene el agua, y durante el otoño se retiraron las hojas caídas en la superficie. En los meses estivales y de mayor evaporación, se tuvo especial atención en mantener el nivel de agua constante, para ello se realizaron las reposiciones necesarias con el agua de la red.

El mantenimiento realizado en el estanque, se complementó con la instalación de un filtro biológico realizado de forma manual. Se trata de un bidón de PVC con una capacidad de 125 L. Dicho bidón, se rellenó con arcilla expandida, conocida como arlita, contenida en bolsas de redes que dejan pasar el agua y evita que la arlita salga. El agua del estanque es impulsada por una bomba hasta el bidón, circula a través de la arlita y sale por una tubería superior de PVC, vertiéndose de nuevo en el estanque, y una vez construido el vaso superior hacia éste (Ilustración 29).

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”



Ilustración 29. Bomba impulsando agua al biofiltro que vierte sobre el estanque. Fuente: Propia

Los biofiltros de arcilla expandida sirven de alojamiento de bacterias nitrificantes por su gran porosidad y crean las condiciones idóneas para que las bacterias proliferen. El amoníaco tóxico que se halla en los excrementos de los peces, en el alimento y en el material vegetal descompuesto, es oxidado y convertido en nitrito a partir de bacterias aeróbicas, por ello, es muy importante que el agua se mantenga en movimiento. Las bacterias aeróbicas se oxidan y convierten el nitrito en nitrato disponible para la nutrición de las plantas (Gayo, 1998; Swindelss, 2009). Según un estudio realizado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, en Baja California, la estabilización de la nitrificación en los biofiltros con arlita duró un período de 7 a 8 semanas, mientras que para otros sustratos no se registró estabilización tras 140 días de experimentación (Núñez, 2016).

El mantenimiento no sólo se realizó del agua del estanque, también implicó revisiones periódicas del correcto funcionamiento del sistema, comprobar el estado de las bombas, tuberías y sistema de riego del jardín vertical en otros.

2.2.3. Metodología en la medición de parámetros físico-químicos del agua

Los parámetros del agua que se han medido son: pH, CE y contenido de nitratos. Esta operación se ha llevado a cabo para valorar la evolución de dichos parámetros físico-químicos y analizar el funcionamiento del sistema acuapónico. A continuación se explica el procedimiento para determinar cada uno de estos parámetros:

pH

El pH interviene en el proceso de nitrificación que ocurre entre 6 y 9, siendo el valor óptimo para la bacteria *Nitrosomonas* spp. 7,5 y para *Nitrobacter* spp. 7,7. La solubilidad de los nutrientes también está determinada por el pH del agua. Nutrientes como el hierro, manganeso, cobre, zinc y boro tienen menos disponibilidad para las plantas con pH mayor de 7,5; en cambio, a pH menor de 6, fósforo, calcio y magnesio se ven afectados en cuanto a solubilidad, por tanto, pH en el rango de 6-6,5 tendrán disponibles todos los nutrientes. El pH también es un aspecto a tener en cuenta en el hábitat de los peces, como se ha mencionado anteriormente, guppies y carpas se desarrollan mejor en pH ligeramente alcalinos, entre 7-7,5. Por último, el componente vegetal exige pH del rango de 5,5-7,5. La mayoría de plantas ornamentales que se eligieron soportan pH alcalino, a excepción de *Ajuga reptans*, *Begonia rex*, *Cyclamen* y *Nephrolepis* que prefieren medios ácidos (Timmons *et al.*, 2007; Cohen *et al.*, 2014). Por tanto, con la combinación de todos los componentes resulta como óptimo alcanzar un pH próximo al neutro.

El pH disminuye a medida que tiene lugar la acción nitrificadora, ya que las bacterias consumen el grupo hidroxilo OH⁻, por lo que se debe tener especial control (Cohen *et al.*, 2014).

Antes de comenzar a funcionar el sistema acuapónico, se tomaron varias medidas de pH del agua del estanque para conocer las condiciones previas al estudio del sistema acuapónico. Como se ha comentado anteriormente, la primera medida fue tomada antes de la instalación del biofiltro y cuando el agua no había tenido ningún tipo de mantenimiento (recambio de agua y limpieza del fondo). A continuación, se fueron tomando medidas aleatorias, una vez se realizaron labores de mantenimiento del estanque para observar su evolución. Por último, ya comenzado el funcionamiento del sistema con la vegetación plantada, las medidas de pH fueron tomadas una vez a la semana mediante dos muestras, una del agua del estanque y otra del agua de drenaje que salía directamente del jardín vertical. Las muestras se recogían con un vaso de

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

precipitado lleno hasta la mitad aproximadamente y se llevaron al laboratorio para mediarlas con el pH-metro.

CE

La conductividad nos indica el contenido de sales disueltas en el agua con la que regamos. Esta medida no nos aporta un valor de concentración individual de nutrientes, pero sirve para obtener información de la cantidad de nutrientes totales en la disolución. Cuando la conductividad eléctrica nos indica un valor menor a 0,75 mS/cm, las plantas podrían tener deficiencia de algún nutriente. En cambio, una conductividad mayor a 3,5 mS/cm puede llegar a ser fitotóxico para la planta (Ballester-Olmos, 1992). La pureza del agua con la que se riega es fundamental para determinar la viabilidad del sistema, por ello, es importante realizar una renovación de ésta, ya que además de perjudicar a los peces del estanque, las sales disueltas se van acumulando (Urrestarazu, 2003).

La conductividad eléctrica se ha medido una vez puesto en funcionamiento el sistema. Al igual que con la medida de pH, se ha realizado tomando dos muestras.

Contenido de nitratos

Las bacterias con el proceso de nitrificación, transforman el nitrógeno amoniacal excretado por los peces como desecho metabólico, obteniéndose como producto final nitratos, que pueden ser absorbidos directamente por las plantas del jardín vertical. Esta es la forma nitrogenada menos tóxica para los peces, aunque dependiendo de la especie de peces, toleran unos valores u otros, incluso hasta llegar a las 300 ppm. No obstante, esta concentración de nitratos es difícil alcanzarla ya que se realizan recambios de agua (Timmons *et al.*, 2007). El contenido de nitratos se ha medido en varias ocasiones. Antes del funcionamiento del sistema se realizó una toma, y una vez realizada la segunda plantación se ha medido cada 15 días. Las tiras reactivas se introducían en el agua contenida en el vaso de precipitado durante dos o tres segundos, a continuación se dejaban secar 45 segundos aproximadamente y por último se introducían en el medidor de nitratos (Ilustración 30).

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”



Ilustración 30. Proceso de medición de nitratos. Fuente: Propia

2.2.4. Metodología de la evaluación del desarrollo vegetal

Una vez plantada la vegetación en el jardín vertical, se han realizado revisiones semanales para observar el desarrollo del crecimiento de las plantas. Las plantas que se han convertido en marras, o algunas de sus partes se han marchitado, no han sido sustituidas por otras nuevas, ya que la intención del proyecto es analizar el funcionamiento de la plantación inicial. Semanalmente se han tomado fotos desde la misma perspectiva para observar el crecimiento de cada una de las especies (Ilustración 31).



Ilustración 31. Ejemplos de fotos tomadas del jardín vertical. Fuente: Propia

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Para determinar el área ocupada por cada planta, las fotografías realizadas se han analizado con el programa informático de procesamiento de imágenes ImageJ. En primer lugar se escala la fotografía con el programa, es decir, esta relación nos indica cuántos pixeles corresponden a cada metro de jardín. A continuación se calcula la superficie al completo del jardín vertical a través de la pixelación total de la imagen que es indicada a partir de m², ya que la foto ha sido escalada. Por último, se calcula la superficie que corresponde a la vegetación, a través de la pixelación únicamente de las plantas, y también ésta es indicada a partir de m² (Ilustración 32). Por último, la superficie de vegetación se dividió entre la superficie total, obteniéndose así un porcentaje de cobertura. El proceso se realizó con todas las fotografías tomadas y se obtuvo una gráfica en Excel que determina la evolución de cobertura vegetal en el jardín vertical.

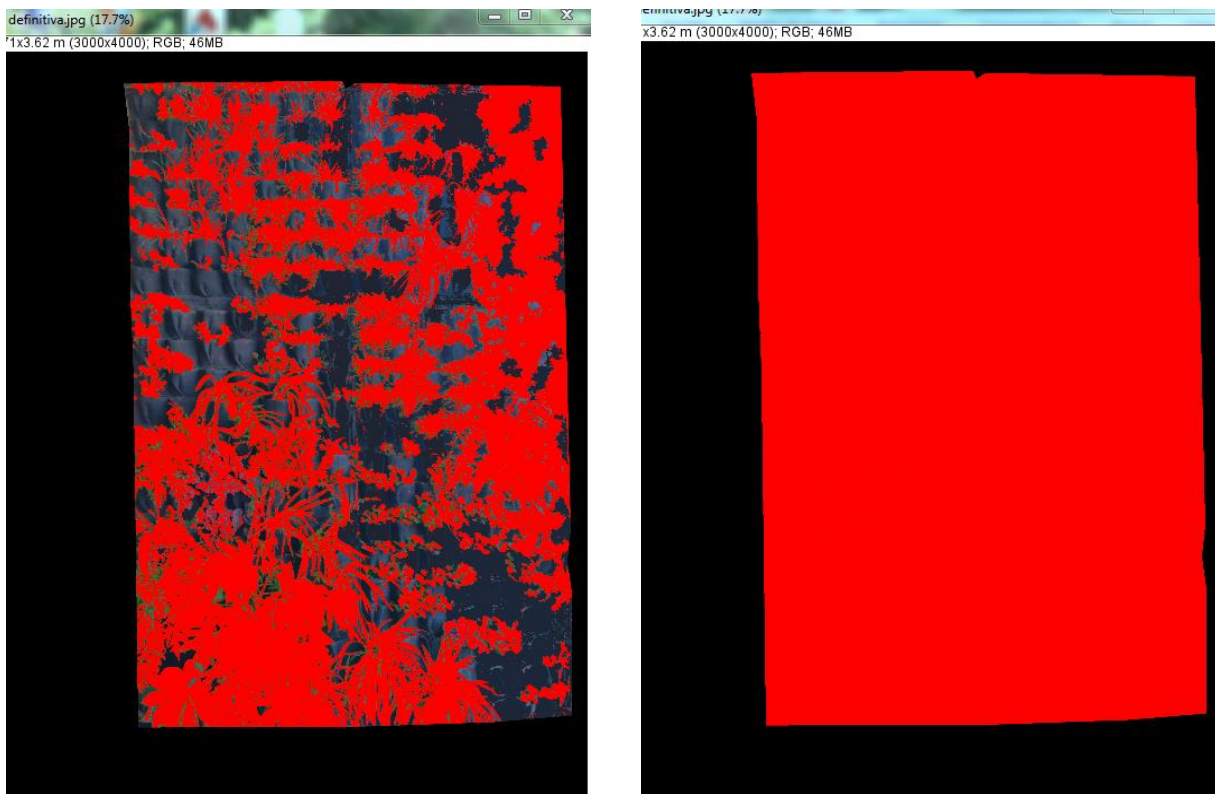


Ilustración 32. A la izquierda imagen pixelada de vegetación, a la derecha imagen del jardín vertical pixelado. Fuente: Propia

La ecuación que determina el porcentaje de cobertura vegetal (%) viene dada por:

$$\frac{SV (m^2)}{ST (m^2)} \times 100 (\%)$$

donde SV se refiere a la superficie vegetal y ST a la superficie total del jardín vertical.

2.2.5. Desarrollo del cuestionario a los alumnos

Las encuestas se han diseñado con el objetivo principal de evaluar la opinión de los alumnos de la ETSIA sobre la combinación de jardines verticales con acuaponía. De forma secundaria, se han valorado otros criterios relacionados con los beneficios de los jardines verticales y estética del conjunto ya instalado en la escuela.

Metodología del desarrollo de la encuesta

Los cuestionarios se han realizado de forma presencial en las instalaciones de la ETSIA a un total de 75 alumnos. La población se ha elegido uniformemente, de forma que, los alumnos estaban matriculados en distintos cursos y pertenecían a las dos ramas de estudio de Ingeniería Agrícola. A la hora de realizar las encuestas, para que los alumnos tuviesen una percepción más concreta del jardín vertical, se ha elegido el momento en el que las plantas han tenido un desarrollo óptimo y cubren una superficie mayor. La actividad ha tenido lugar en horario de tarde y mañana y eligiendo dos días de la semana al azar.

Diseño de la encuesta

El cuestionario (Anexo V), se introduce con un apartado de preguntas personales de carácter general, con la intención de clasificar al alumnado y poder hacer perfiles en función a estas características para algunas preguntas que resulte interesante. En la mayoría de las preguntas se ha seleccionado la muestra completa. Las encuestas son totalmente anónimas, por lo que las preguntas están relacionadas con otros aspectos: edad del encuestado, género, curso más alto en el que está matriculado, especialidad de la ingeniería que realiza y asignatura del curso en la que está realizando la encuesta. Estas dos últimas preguntas se han respondido en el caso de que procedieran.

La encuesta ofrece un total de 7 preguntas de respuesta cerrada y elección única dentro de varias alternativas (preguntas politómicas), a excepción de una sola pregunta de carácter dicotómico, siguiendo la metodología de evaluación mediante la Escala Likert (del 1 al 5) (Blasco-Romero, 2016). Cada alumno expresa su preferencia con distintas escalas adaptadas en función a la pregunta, surgiendo las siguientes categorías:

- Grado de opinión acerca de la estética
- Grado de conocimientos
- Grado de acuerdo

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

La primera pregunta no tiene relación directa con el estudio, su intención, al igual que el apartado “Datos generales del encuestado” es clasificar y hacer un perfil del alumnado en función de la frecuencia con la que acude a las instalaciones de la ETSIA.

El cuestionario comienza con un enfoque global de la percepción del jardín delantero (exterior) de la escuela, y a continuación las preguntas se focalizan en el jardín vertical combinado con acuaponía.

Previamente a la explicación del proyecto, se realiza una pregunta con la intención de valorar los conocimientos del encuestado acerca de la metodología llevada a cabo en el jardín vertical. Las siguientes preguntas, valoran criterios de estética y beneficios de dicho sistema, cerrando el cuestionario con una pregunta de opinión acerca de la importancia innovadora del proyecto.

Digitalización y análisis estadístico

Las respuestas de los cuestionarios son digitalizadas utilizando como herramienta la hoja de cálculo de Microsoft Excel. Cada respuesta de cada una de las preguntas está representada con un valor numérico, de manera que, cuando se refiere a una pregunta con Escala de Likert, la respuesta más positiva tiene un valor uno (1) y la más negativa un valor cinco (5). A continuación, se realizaron las medias aritméticas de cada pregunta, representando mediante gráficos los resultados.

2.3. Diseño y construcción del sistema acuapónico

2.3.1. Diseño del sistema acuapónico ornamental

El sistema acuapónico consta de un componente acuícola y un componente hidropónico. El componente acuícola, en este caso, parte de la base de un estanque ornamental ya instalado en la zona de trabajo y descrito en el apartado “Materiales y métodos”, y el componente hidropónico, lo constituye un jardín vertical que se ha diseñado en la zona de trabajo. Ambos elementos están conectados entre sí (Anexo I).

En el sistema acuapónico, la conexión del estanque con el jardín vertical está formada por dos componentes:

Biofiltro

Se trata de un filtro biológico realizado de forma manual. Consta de un bidón de PVC, con una capacidad de 20 L, que se ha rellenado con arcilla expandida (arlita), contenida en bolsas de redes que dejan pasar el agua y evita que la arlita salga. El agua del estanque es impulsada por una bomba hasta el bidón, circula a través de la arlita y sale por una tubería de PVC (32 mm de diámetro). El agua filtrada por las bacterias se vierte en el vaso superior al estanque, proporcionando con la caída movimiento que favorece la oxigenación. El oxígeno es uno de los factores ambientales que controlan la nitrificación, y parece ser una de las variables más importantes que la regula (Stenstrom y Poduska, 1980). De hecho, en función de la concentración de O_2 el proceso nitrificante se puede volver desnitrificante. Por ejemplo, *Nitrosomonas europaea* produce NO y N_2O a partir de hidroxilamina, cuando se desarrolla en ambientes con una concentración baja de oxígeno. Se puede concluir que la formación de NO y N_2O es una ruta de emergencia para la obtención de energía cuando el oxígeno se encuentra en concentraciones bajas extremas (Hong *et al.*, 1994).

La bomba que está instalada en el estanque e impulsa el agua hacia el biofiltro es una bomba de estanque, modelo SPM-11000 (BOYU). Tiene un eje de cerámica inoxidable que resiste la corrosión y una carcasa impermeable. La potencia de la bomba es de 115 W. El caudal máximo es de 10000 l/h y la altura máxima de 4,5 m. La altura manométrica de nuestro sistema no supera esta cifra, por lo que funciona correctamente.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Vaso superior del estanque

La función del vaso es recoger el agua filtrada por las plantas del jardín vertical y evacuarla al estanque. A su vez, impulsa el agua al jardín por otra tubería. Su forma es prácticamente rectangular y tiene una superficie de 1,64 m², un perímetro de 4,405 m y en el punto más profundo 60 cm de longitud. El vaso, en uno de sus laterales linda con el camino y, la pared opuesta, que corresponde a la de mayor longitud, linda con el estanque y está reforzada con un muro de contención de aguas (Ilustración 33).



Ilustración 33. Disposición del vaso con respecto al camino y el estanque. Detalle del muro en construcción.
Fuente: Propia

El muro está formado por una base de cemento, arena y grava, que soporta los bloques de hormigón. Se ha dejado abierto por un hueco de 26 cm para evacuar el agua filtrada al estanque (Ilustración 34). El vaso está revestido con una lámina de PE dispuesta sobre un fieltro que cubre la excavación al completo y evita roturas del plástico.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”



Ilustración 34. Muro de contención con hueco de evacuación de agua. Fuente: Propia

El modelo de la bomba que impulsa el agua hacia el jardín vertical es GE-DP 7935 N ECO (Einhell). Se trata de una bomba sumergible de agua sucia que deja pasar partículas de hasta 35 mm de diámetro y dispone de un detector de nivel. Tiene una carcasa de plástico resistente al impacto con una cubierta de acero inoxidable. En este caso, necesitamos impulsar el agua hasta 3 m de altura, teniendo en cuenta también las pérdidas lineales en la conducción y las pérdidas locales. Por tanto, elegimos una bomba de mayor altura manométrica que la anterior. Esta bomba alcanza hasta 9 m, que en este caso es suficiente, y tiene un caudal máximo de 20000 L/h (Ilustración 35). Parte del agua que impulsa la bomba es recirculada de nuevo hacia el vaso, ya que el caudal que necesitamos para el jardín es menor del que se bombea.

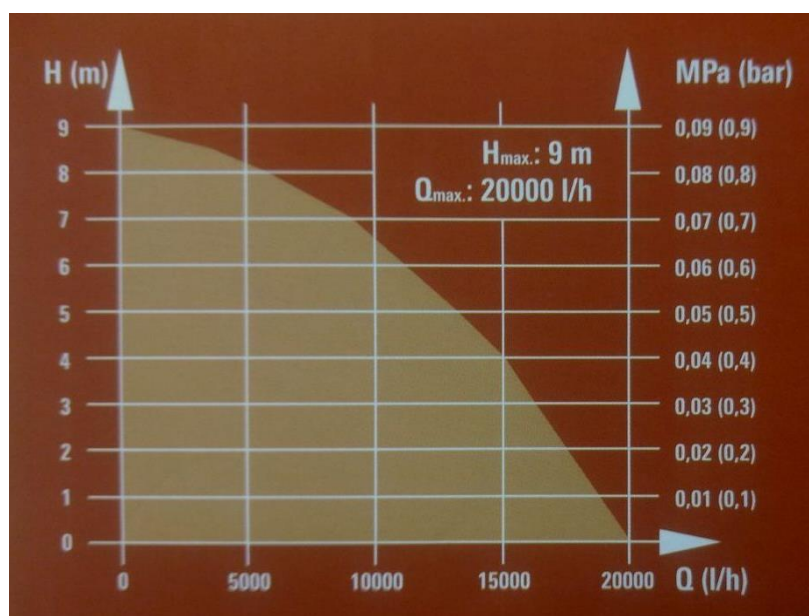


Ilustración 35. Curva característica de la bomba. Fuente: Propia

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Las tuberías utilizadas en este sistema son de PVC y tienen un diámetro de 32 mm, y las piezas de conexión son de PE (Ilustración 36).



Ilustración 36. Modelo de tubería y conexión. Fuente: Propia

2.3.2. Diseño jardín vertical

El jardín vertical tiene una superficie ajardinada de 6 m² que alberga 18 variedades de especies vegetales distintas. Está situado en una pared de 10 m² de uno de los ventanales del edificio principal de la ETSIA (Anexo II).

2.3.2.1. Estructura del jardín vertical

Estructura auxiliar

La estructura auxiliar presenta una forma rectangular (5 x 5 cm) de 3 m de altura y 2 m de anchura. Esta estructura metálica sirve de ayuda para portar los distintos componentes que forman el jardín vertical y está anclada a la pared.

Consta de varios perfiles cuadrados (5 x 5 cm) huecos, de acero galvanizado, que están soldados entre sí. El conjunto está atornillado a la pared y en la parte inferior del conjunto se han atornillado dos perfiles metálicos (L) dispuestos en horizontal que sirven de apoyo para la estructura completa (Anexo II).

Paneles de sustrato

El panel de sustrato está constituido por seis módulos que sirven como medio de desarrollo de la vegetación. Se trata de un sistema Fytotextile, desarrollado y patentado por la Universidad de Sevilla. Los módulos son flexibles y están atornillados a la estructura de acero auxiliar a través de un perfil de metálico que se encuentra en la parte superior de cada módulo. El sistema consta de una matriz de bolsillos donde se vierte el sustrato y se planta la vegetación. Los bordes de cada módulo son conectables, de manera que los seis módulos quedan unidos entre sí. La parte superior de cada uno de ellos incluye una pestaña practicable que incorpora la línea de riego por goteo. Los módulos (Ilustración 37) están formados por tres láminas de materiales unidas entre sí y con las siguientes características:

- **Capa exterior** de fibra sintética que combina poliamida y polipropileno, de textura áspera, impermeabilizante y que forma los bolsillos.
- La **capa intermedia** es una capa de geotextil, realizado con fibra de polipropileno, con textura más suave y con gran capacidad de retención de agua.
- La **última capa** está constituida por una lámina de PVC flexible y es una capa impermeable que impide que el agua traspase y forme humedad en la pared.

Las dimensiones de cada módulo son de 1 x 1 m con 49 bolsillos de 12 x 12 cm cada uno.

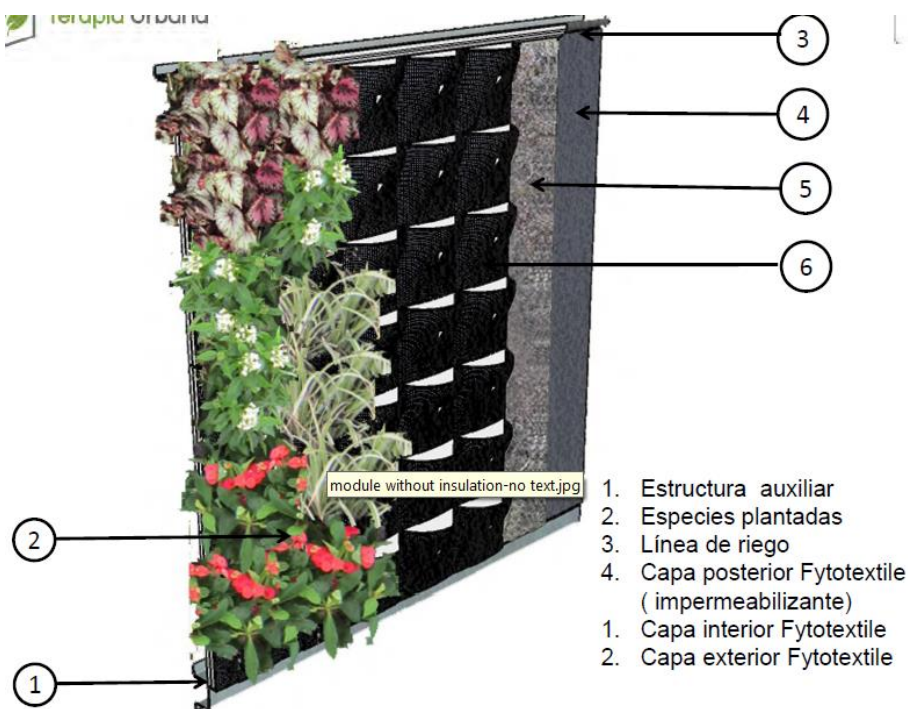


Ilustración 37. Estructura completa de un módulo patentado por la Universidad de Sevilla. Fuente: Hidalgo-Romero, 2016.

Canaleta de evacuación de agua

El canal de recogida de agua está situado en la parte inferior del jardín vertical. El canal es de acero galvanizado y tiene una sección de 10 cm de altura x 15,5 cm de anchura y una longitud de 2,40 m. Está fijado a la pared y ligeramente inclinado a la derecha para que el agua se desplace hacia esta parte del canal, donde existe una abertura que da paso a la tubería de evacuación (Ilustración 38).



Ilustración 38. Montaje de las piezas de la abertura de evacuación del agua. Fuente: Propia

2.3.2.2. Diseño de la composición vegetal

El diseño del jardín vertical está inspirado en una imagen dibujada con témperas de colores. Representa un estanque de peces con nenúfares, desde una perspectiva en planta y con un estilo abstracto y colorido (Ilustración 39). Según las tonalidades de colores y las siluetas del pez y nenúfar, el diseño queda dividido en áreas representadas a través de plantas (de ahora en adelante, denominada “mancha”). De este modo, a cada mancha se le asignará una especie de planta en el jardín vertical, pudiendo así diferenciar una mancha de otra y representar la imagen lo más semejable posible.

De la imagen original se ha seleccionado una proporción menor para poder representarla con mayor exactitud, ya que solo se dispone de 294 bolsillos para colocar las plantas (Ilustración 40).



Ilustración 39. Imagen original para el diseño del jardín.
Fuente: Pinterest



Ilustración 40. Fragmento seleccionado de la imagen original.
Fuente: Propia

A continuación, con la ayuda del programa Excel, se realizó el diseño gráfico del jardín vertical (Anexo IV). Se ha colocado sobre la imagen una cuadrícula que representa el número de bolsillos de los que se dispone en el jardín vertical, y cada uno de ellos se ha nombrado con letras y seleccionado con un color distinto, los cuales están indicados en la leyenda con la especie de planta a la que se refiere.

2.3.2.3. Selección de especies vegetales

Las especies vegetales se han elegido en función del clima de Sevilla y atendiendo a los criterios ambientales que se dan más en concreto en el lugar donde se instala el jardín vertical. La exposición solar máxima se da en la parte derecha del jardín, disminuyendo su incidencia conforme nos acercamos a la parte izquierda. En cuanto a la humedad, en general, la zona inferior es siempre más húmeda que la superior ya que el agua se distribuye por gravedad. Por tanto, podemos diferenciar 6 zonas: Zona 1 (Umbría y poco húmeda), Zona 2 (Soleada y poco húmeda), Zona 3 (Umbría y de humedad

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

media), Zona 4 (Soleada y de humedad media), Zona 5 (Umbría y húmeda) y Zona 6 (Soleada y húmeda) (Ilustración 41).

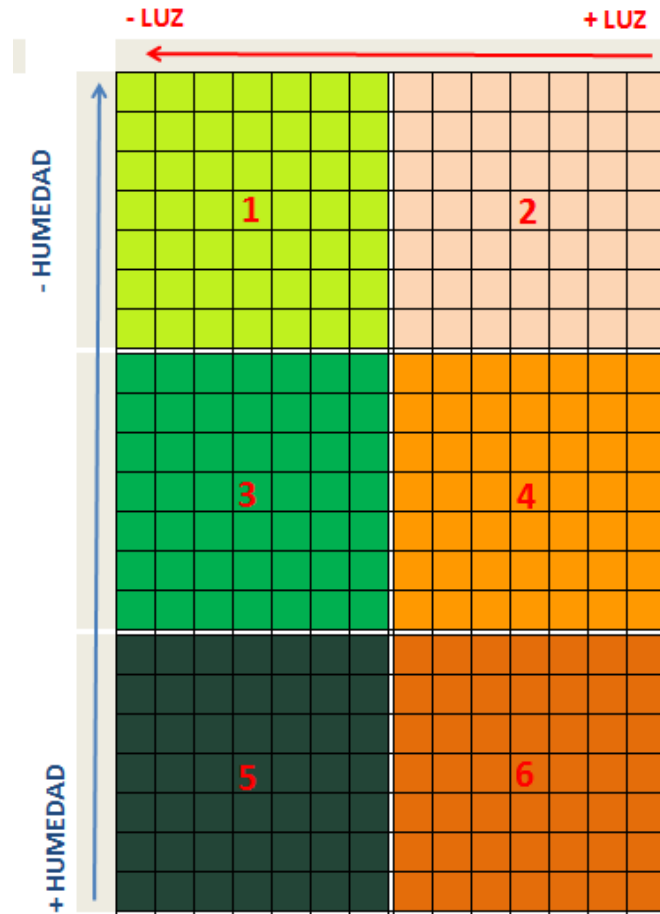


Ilustración 41. Jardín vertical diferenciado por zonas. Fuente: Propia

Además de los criterios ambientales, se ha tenido en cuenta la elección de especies vegetales que conviviendo en un mismo espacio se desarrollen adecuadamente sin dar fenómenos de alelopatía, para ello, se han observado diferentes jardines verticales y se han elegido plantas que se conoce con certeza su buen desarrollo en este tipo de estructura.

Todas las plantas han sido adquiridas de un vivero local “Vivero del Rocío”. Presentadas en contenedores de diversa capacidad (2,5 l, 1 l y 0.25 l). Se dividió el cepellón de algunas plantas para cubrir un mayor número de bolsillos: carex (*Carex flacca* y *Carex oshimensis*), soleirolia (*Soleirolia soleirolii*), esparraguera (*Asparagus sprengero*), ficus (*Ficus pumila*), helecho (*Phlebodium aureum*) y cinta (*Chlorophytum comosum*).

A continuación se detallan las características de cada especie y se justifica su elección (Sánchez, 2001; Brickell y Cole, 2002; Argimon y Farré, 2008):

***Acanthus mollis* (Acantáceas)**

Acanto



Ilustración 42. *Acanthus mollis*. Fuente: <http://www.jparkers.co.uk/acanthus-mollis-0001613c>

Planta herbácea perenne que tiene la apariencia de un frondosa mata, con un rico follaje que alcanza una altura comprendida entre 0,5 y 1 m (Ilustración 42). De la roseta basal parten numerosas hojas lobuladas de gran tamaño (30-60 cm). Son duras, rizadas y de tonalidad verde oscuro, provistas de un pecíolo largo. Las flores están rodeadas de brácteas espinosas y tienen un color que puede ir desde el blanco al púrpura. Cáliz bilabiado de color violeta o verdoso. La corola son los labios teñidos de púrpura. Nacen de unas alargadas espigas de hasta 1 m de altura. La época de floración es en verano. Es originaria de África occidental y sur de Europa.

Observación: Puede sufrir el ataque del hongo oídio. Tras la floración hay que cortar las hojas casi al ras del suelo.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Cultivo: Puede cultivarse en cualquier tipo de suelo. En verano necesita riego abundante y la exposición más conveniente es la umbría o semisombra, tolerando hasta -7 °C.

El acanto se ha colocado en la parte inferior del jardín que es una de las zonas más húmedas. El ficus plantado en la parte superior se desarrollará y le proporcionará más sombra. Sólo se han plantado tres bolsillos ya que la planta se ha adquirido por división de un ejemplar que está plantado en el jardín.

***Agapanthus africanus* (Liliáceas)**

Agapanto



Ilustración 43. Agapanthus africanus. Fuente: <https://es.pinterest.com/explore/agapanthus-umbellatus/>

Es una planta perenne y tuberosa que forma grupos de varios individuos (Ilustración 43). Alcanza algo más de un metro de altura. Su follaje de color verde oscuro, está formado por hojas acintadas, carnosas y brillante que perduran todo el año y miden entre 10-35cm de longitud y entre 1-2 cm de anchura. Producen un largo tallo erguido (escapo) de 30-60 cm de longitud, en cuyo extremo nacen las flores con unos 7 cm de largo, de forma acampanada y parecidas a pequeños lirios, que se agrupan en un racimo de color azul intenso. El perianto mide 3-5 cm de longitud y los estambres son

más cortos que éste. La floración es anualmente a finales de primavera, aunque al principio tarda dos o tres temporadas en florecer. Originaria del Sudáfrica.

Observación: Para prolongar su floración es necesario mantenerla bien hidratada durante el verano y evitar humedad durante el invierno. Estas plantas se desarrollan lentamente pero pueden propagarse mediante división en primavera, es aconsejable realizar la división cada 6 o 7 años a finales de verano.

Cultivo: El agapanto crece mejor en suelos ricos en materia orgánica y de naturaleza ligeramente ácida, pues no tolera la cal. El sustrato debe estar húmedo pero bien drenado. Se trata de una planta más adecuada para climas templados, porque no tolera las heladas intensas aunque soporta bajas temperaturas. Por lo general, se mantiene al sol, aunque si la zona es muy calurosa, tolera bien la umbría o la media sombra.

En el jardín vertical se ha colocado a media altura para evitar exceso de humedad y en la parte izquierda que estará siempre iluminada pero no tiene exposición directa al sol que le puede perjudicar en los meses de verano.

***Ajuga reptans* 'Autropurpurea' (Lamináceas)**

Ajuga



Ilustración 44. *Ajuga reptans* 'Autropurpurea'. Fuente: Propia

Herbácea perenne que generalmente se utilizan para formar coberturas ya que rápidamente forman un tapiz denso (Ilustración 44). Se extiende abundantemente mediante estolones con pequeñas rosetas de hojas de oblongas a espatuladas, de

hasta 9 cm de longitud, glabras, más o menos dentadas y opuestas, de color púrpura bronceado alcanzando. Produce espigas cortas que alcanzan 15 cm de longitud con verticilastros de 6 flores, azuladas que crecen en inflorescencias en racimos, compactas y abundantes. Su época de floración es en primavera. Es una planta natural de Europa y norte de África, extendiéndose hasta Irán. En la península Ibérica aparece en prados húmedos, bosques sombríos y cerca de ríos sobre todo en la zona del norte.

Cultivo: La ajuga tiene un crecimiento rápido en suelos bien drenados, aunque necesita lugares húmedos. Prefiere suelos ligeramente ácidos con pH desde 4.5 a 7.5 y no excesivamente pobres en materia orgánica, aunque tolera los suelos básicos. Es una planta bastante resistente al frío pero no soporta temperaturas extremas y admite variaciones de nutrientes. Prefiere sombra, si bien, se desarrollan a media sombra y al sol, proporcionando mejores colores en el follaje.

Esta planta se ha colocado en el jardín vertical abarcando todo el cuerpo del diseño del pez. Ocupa zonas tanto de la parte inferior, parte media y superior del jardín, así como de la izquierda y derecha que es la más luminosa. Al ser una planta resistente y de crecimiento rápido, se ha elegido para que el cuerpo del pez quede totalmente tapizado y lo más definido posible. La textura de la planta y su color de hoja tan característico hacen que la silueta se distinga del resto de zonas que la rodean, destacando así del fondo.

***Asparagus sprengeri* (Liliáceas)**

Esparraguera



Ilustración 45. *Asparagus sprengeri*. Fuente: Propia

Planta perenne, siempre verde, erecta o rastrera que se suele cultivar en cestos colgantes, con tallos que alcanzan una longitud de hasta 1 m y una anchura total de la planta de hasta 50 cm (Ilustración 45). Cladodios planos, lineares o lineal-oblongos, de sección redondeada en algunos cultivares, de 5-15 mm de longitud, en grupos de 1-3 en los nudos, estrechos, verdes y brillantes. Racimos de varias flores blancas con tonos rosados, naciendo de entre los cladodios, con perianto de 2-5 mm de longitud. Floración en verano seguida de bayas rojas monosperma que son tóxicas. Originaria del sur de África.

Observación: La esparraguera se propaga en primavera mediante semillas o división de la macolla.

Cultivo: Es típica de clima mediterráneo por lo que no soporta las heladas. El sol directo hará que sus hojas no luzcan tan verdes, pero se puede desarrollar en lugares sombríos o bien a plena luz. Necesita un sustrato fértil y bien drenado, en invierno el exceso de humedad la puede perjudicar.

Esta planta ha sido colocada en la parte superior derecha del jardín. Al ser una planta colgante proporciona sombra a las que están situadas más abajo. Aporta volumen a esa zona definiendo así la mancha que le corresponde.

***Begonia rex* (Begoniáceas)**

Begonia de hoja pintada



Ilustración 46. *Begonia rex*. Fuente: Propia

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Planta risomatosa (Ilustración 46). Las hojas de esta planta son carnosas, oblicuamente ovadas, de 20-30 cm de longitud, agudas, textura rugosa y dentadas con distintos tonos y matices que van desde el verde al rojo, el púrpura y el violeta, pasando por los plateados. En concreto el cultivar del jardín vertical tiene dos tonos de rosa púrpura. El envés de la hoja tiene la nervadura pubescente. Pecíolo rojizos, pelosos. Florece del verano al otoño con insignificantes flores rosas de 5 cm de diámetro. Su origen es hortícola ya que se ha obtenido por diversos cruces.

Observación: *Begonia rex* que está adaptada al cultivo interior surge del cruce de la begonia original, natural de los bosques de la India Oriental, con *Begonia diadema*.

Cultivo: Necesitan un ambiente húmedo pero con ventilación y una zona luminosa pero sin sol directo. Su temperatura óptima ronda los 20 °C. Prefiere suelos calizos y bien drenados para evitar la podredumbre de tallos y raíces.

Se han situado varios ejemplares de begonia en la parte media del jardín vertical, creando una mancha pequeña que aporta colorido a esta parte donde destacan hojas verdes.

***Carex flacca* ‘Blue zinger’ y *Carex oshimensis* ‘Everoro’ (Ciperáceas)**

Mansiega. Carex.



Ilustración 48. *Carex flacca* ‘Blue zinger’. Fuente: Propia



Ilustración 47. *Carex oshimensis* ‘Everoro’. Fuente: Propia

Las características de estas dos especies son similares. Gramíneas, hierbas perennes que forman haces de hoja de aproximadamente 30 cm ó 50 cm de altura cuando se incluyen las espigas, teniendo la variedad *Carex oshimensis* ligeramente mayor longitud (Ilustración 47). La anchura abarca hasta 25 cm de diámetro. Posee hojas estrechas y glaucas relativamente escamosas la variedad Blue zinger (Ilustración 48) y color verde con franja amarilla en el centro y de 20 cm de longitud la variedad Everoro. Los tallos, robustos y triangulares producen en primavera-verano espiguillas con flores insignificantes. Se distribuyen de forma natural por la región mediterránea. Se encuentran de forma general por la península Ibérica y en las Islas Baleares. Se desarrollan en prados húmedos, matorrales y campos de la zona mediterránea.

Observación: La especie *Carex flacca* tiene un crecimiento rápido, haciendo recubrimientos densos; en cambio la variedad *Carex oshimensis* presenta un crecimiento relativamente lento. Se utilizan como tapizantes y en rocallas ya que no requieren un gran mantenimiento.

Cultivo: Necesitan humedad baja o media pero en verano riegos regulares. Pueden estar expuestas al sol sin problemas aunque también se desarrollan bien a media sombra. Son plenamente resistentes. No presentan limitaciones especiales en cuanto al tipo de suelo y pH, simplemente deben estar bien drenados y que no sean excesivamente pobres en nutrientes. Ambas son bastante resistentes al frío.

Ambas variedades se han colocado en la parte superior del jardín que corresponde a la menos húmeda aportando manchas de color azul y dorado separadas por la alfombra de soleirolia.

***Chlorophytum comosum* (Liliáceas)**

Cinta

Planta perenne, siempre verde, en forma de hacecillo que alcanza una longitud de 30 cm. Las hojas son muy estrechas de hasta 45 cm de longitud, dispuestas en forma de roseta y de color blanco crema con bandas verdes (Ilustración 49). Produce, en cualquier época del año, racimos de flores blancas, muy pequeñas, estrelladas, dispuestas sobre tallos delgados de 60 cm o más de longitud. Pueden aparecer también pequeñas rosetas dispuestas en la base de los tallos florales, formado retoños basales. Nativa de Sudáfrica.

Observación: Esta planta se propaga a través de semillas, divisiones o retoños.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Cultivo: La cinta es sensible a las heladas y la temperatura mínima que soporta son 5°C. Se desarrolla en posición luminosa, aunque alejada del efecto directo de los rayos solares, sobre suelos fértiles y bien drenados. Deben regarse con abundancia durante la época de desarrollo, y de modo más escaso en los restantes períodos después del desarrollo.



Ilustración 49. Chlorophytum comosum. Fuente: Propia

Se ha escogido esta planta por ser una de las más utilizadas en jardines Verticales, aportando volumen en la parte inferior junto a la silueta del pez.

***Cyclamen persicum* (Primuláceas)**

Ciclamen. Violeta persa



Ilustración 50. Cyclamen persicum. Fuente: Propia

Planta perenne y tuberosa que se utiliza en jardinería por la belleza de sus flores y alcanza los 20 cm (Ilustración 50). Las hojas son grandes, redondeadas y en forma de corazón, agudas en el ápice y finalmente dentadas. Hojas coriáceas, verde por el haz y rojizas por el envés, presentando decorativos dibujos por agrisados. Las hojas crecen sobre largos pecíolos que surgen de un punto en el tallo tuberoso. Las flores de color rosa claro son colgantes, formadas por 5 pétalos reflejos y la existencia de una boca con la tonalidad de color rosa más pronunciada. Las yemas florales surgen desde finales de otoño a la primavera. El cultivar plantado en el jardín vertical florece en primavera. Originaria del Oeste de Asia Menor.

Observación: Cuando se cultiva en maceta, en verano deben secarse todos los tubérculos y replantase en otoño, regándose con abundancia para reiniciar el crecimiento. Se propaga mediante semillas a finales de verano o en otoño. Esta variedad es sensible a la podredumbre de la raíz.

Cultivo: Soporta temperaturas mínimas de 5-7 °C. Requiere suelos ricos en humus, bien drenados, y exposición al sol o bien a sombra parcial pero siempre con mucha luz. Necesita riegos abundantes pero sin encharcar.

Se han colocado dos ejemplares de ciclamen en la parte inferior derecha del jardín para darle colorido a esta zona que representaría la cabeza del pez.

***Fatsia japonica* (Araliáceas)**

Aralia del Japón



Ilustración 51. Fatsia japonica. Fuente: Propia

Arbusto perennifolio y compacto, que se utiliza en jardinería por las características de sus hojas, flores y frutos (Ilustración 51). Puede alcanzar 3-4 m tanto de altura como de anchura. Posee tallos robustos y hojas muy grandes, de 90 cm de longitud y hasta 40 cm de anchura, palmeadas, profundamente lobuladas, lustrosas y de color verde oscuro. Las hojas tienen de 7-11 lóbulos estrechamente oblongo-elípticos, generalmente dentados. Produce compactos ramilletes de flores blancas de hasta 4 cm de diámetro, diminutas, que dan paso a frutos redondeados y negros. La floración surge en pleno otoño.

Observación: Se propaga mediante esquejes semimaduros obtenidos en verano o bien mediante semillas en otoño o primavera.

Cultivo: La aralia es una planta resistente, aunque en las zonas de clima frío debe protegerse de los vientos fuertes. Soporta la exposición tanto al sol como a la sombra y requiere suelos fértiles y bien drenados.

La aralia ha sido colocada en la parte izquierda inferior del jardín, que es la más sombría y húmeda, y junto a la costilla y los helechos aporta un gran volumen a esta zona que representa uno de los nenúfares de la imagen en la que está basado el diseño.

***Ficus pumila* (Moráceas)**

Ficus



Ilustración 52. Ficus pumila. Fuente: Propia

Planta de carácter perenne que puede ser tanto trepadora como rastrera, pues al cultivarse en maceta desarrolla un hábito arbustivo perdiendo elasticidad los tallos (Ilustración 52). El elemento de soporte es mediante raíces adherentes. Alcanza 8 m de altura y solo 1,5 m si se cultiva en jardinera. Es apreciada por su follaje de color verde brillante y porque proporciona sombra. Sus hojas son de color verde brillante, acorazonadas y de 2-3 cm de longitud en su fase juvenil; 3-8 cm de longitud, coriáceas y ovaladas, cuando son maduras. En primavera o verano, produce un ramillete insignificante de flores. Produce frutos de sabor desagradable, de 6 cm de longitud, anaranjados primero y después teñidos en tonos púrpuras y rojos.

Observación: Esta especie únicamente alcanza la fase adulta en zonas que son muy cálidas y cuando se cultiva bajo cristal. Deben recortarse las extremidades de las

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

ramificaciones a fin de favorecer su ramificación. Se propagan mediante semillas en primavera, o bien a través de yemas foliares o esquejes de extremidad caular, e incluso por acodo, en verano. La araña roja puede producir diversos inconvenientes al cultivo de estas especies.

Cultivo: Constituye una especie sensible al frío y a las heladas. Prefiere exposición a plena luz o bien sombra parcial, y suelos fértiles y bien drenados. Los ejemplares cultivados en macetas y jardineras han de regarse con moderación, y muy poco cuando las temperaturas ambientales son bajas.

***Hedera helix* ‘Goldchild’ (Araliáceas)**

Hiedra

Variedad ‘Goldchild’



Ilustración 53. *Hedera helix* 'Goldchild'. Fuente: Propia

Planta trepadora autoadhesiva o rastrera, perenne y de vigor medio (Ilustración 53). Altura 2-3 m. Hojas trilobuladas de 3-4 cm de largo por 4-5 cm de ancho. Centro de la hoja verde y verde grisáceos; hermoso margen regular amarillo. Se distribuye por toda Europa, hasta el Cáucaso, y también por el norte de África. Vive en bosques y rincones ombrívolos de las regiones mediterráneas.

Observación: Se hace más verde a la sombra. Los brotes adultos de la hiedra pierden la capacidad de hacer raíces adventicias para fijarse y trepar y, en cambio, adoptan un

porte erecto, arbustivo, y adquieren la capacidad de fructificar. Las hojas de estos brotes son romboidales.

Cultivo: Este cultivar es indiferente al tipo de suelo (calizo o silíceo). Vive bien en todo tipo de suelos, siempre que se mantenga una cierta humedad. Prefiere suelos no excesivamente pobres. Prefiere mantenerse a media sombra y sin sol directo constantemente, aunque necesita luz. Resiste el frío hasta -1 °C.

La hiedra de la variedad ‘Goldchild’ resulta más decorativa que la común, por tanto se ha preferido elegir ésta. Además, la hiedra común puede resultar infestante.

***Monstera deliciosa* (Aráceas)**

Costilla de Adán



Ilustración 54. *Monstera deliciosa*. Fuente:
<https://www.hogarmania.com/jardineria/fichas/plantas/200610/costilla-adan-5569.html>

Planta perenne y robusta. Trepadora que emite una gran cantidad de raicillas para sujetarse al sustrato (Ilustración 54). Presenta tallos leñosos de los que parten peciolos de unos 50 cm de longitud, con hojas ovaladas y de gran tamaño, de 40-90 cm de longitud, que a medida que van creciendo pierden tejido de la lámina hasta quedar profundamente lobuladas. El lugar que ocupa la costilla de Adán en el jardín es el ideal para su desarrollo, zona umbría y húmeda.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Observación: Cuando la planta aumenta de tamaño, hay que colocar algún tutor u otro soporte para que los tallos se desarrollen bien y no caigan hacia el suelo.

Cultivo: La costilla, necesita un rico sustrato y húmedo, que puede prepararse con una mezcla de turba y abono compuesto, y provisto de buen drenaje. Debe colocarse en una zona sin exceso de iluminación o bajo algo de sombra, pues resulta especialmente sensible al sol cuando hace calor. Su temperatura ideal es de 15-18 °C.

Planta de las regiones tropicales de América, frecuentemente cultivada por su llamativo follaje.

***Nephrolepis exaltata* (Nefrolepidáceas)**

Helecho espada



Ilustración 55. Nephrolepis exaltata. Fuente: Propia

Planta perennifolia que alcanza una altura y anchura de 90 cm ó más. Helecho con rizoma bien desarrollado, escamoso, sin tubérculos (Ilustración 55). Presenta frondes erguidos, de 70-100 cm x 5-12 cm, a veces de porte extendido, lanceolados, divididos y verde pálido, que parten de tallos delgados aunque resistentes, con pecíolo moderadamente escamoso. Pinnas 2,5-6 x 0,6-1,4 cm, triangular-oblongas, a veces algo falcadas, con la base truncado-auriculada o auriculada. Planta proveniente de los

bosques tropicales de América, África y Polinesia, y se desarrolla en bosques húmedos y pantanos.

Observación: Los frondes marchitos deben eliminarse y hay que dividirlos con regularidad. Se propaga por división en verano o principios de otoño.

Cultivo: Necesitan posición umbría. Prefieren suelo húmedo, aunque son extraordinariamente resistentes tanto a la sequía como al encharcamiento. Resisten temperaturas mínimas de 5 °C pero es sensible a las heladas.

El helecho se ha colocado en la parte izquierda del jardín y a media altura. Esta zona es la que aporta más volumen y están plantadas todas las especies vegetales que requieren más sombra y humedad. Se crea un microclima que favorece el desarrollo de todas ellas.

***Soleirolia soleirolii* (Urticáceas)**

Lágrimas de ángel



Ilustración 56. *Soleirolia soleirolii*. Fuente: Propia

Planta perenne, siempre verde, de porte rastrero formando una compacta cubierta de hojas que alcanza 5 cm de altura. Los tallos son difusos, filiformes y radicales en los nudos (Ilustración 56). Las hojas redondeadas y de color verde intenso forman una

especie de alfombra. Las flores son pequeñas y difíciles de observar, unisexuales, masculinas y femeninas sobre el mismo pie. Florece de primavera a verano con un color rosa claro. Planta proveniente de las islas del Mediterráneo Occidental.

Observación: Si su crecimiento no es controlado, puede perjudicar a otras plantas. Aunque la hoja puede morir a causa de los fríos invernales, la planta recupera rápidamente su vigor en la primavera siguiente rebrotando desde la base. Se propaga mediante división desde primavera a pleno verano.

Cultivo: Tolera indistintamente posición soleada o umbría. Necesita riegos frecuentes y prefiere suelos húmedos pero bien drenados. En cuanto al pH no tiene limitaciones específicas.

La soleirolia es una de las especies vegetales más utilizadas en jardines verticales. Se desarrolla muy bien en este tipo de estructura y se ha combinado junto con especies vegetales que aportan volumen para que la mancha que ocupa quede definida.

***Tradescantia pallida* (Commelináceas)**

Amor de hombre

Variedad ‘Purpurea’



Ilustración 57. Tradescantia pallida 'Purpurea'. Fuente: <https://es.pinterest.com/pin/380132024779441215/>

Perteneciente a un género de planta perenne, vivaces suculentas de efecto colgante o rastrero (Ilustración 57). Planta con tallos ascendentes o postrados. Sus hojas se desarrollan en espesas matas de unos 20 a 40 centímetros de altura y anchura indefinida. Hojas de oblongo-elípticas a elíptico-lanceoladas, de 7-15 cm de longitud, algo suculentas, de color verde glauco con tintes rojizos, generalmente glabras. Carecen de pedúnculos y surgen engarzadas en torno a unos tallos suculentos bastante quebradizos. De los segmentos de los tallos surgen raicillas que les permiten arraigar y extenderse formando un tapiz. Inflorescencia terminal con flores de color rosa de 2-3 cm de diámetro. Florece en primavera-verano. Nativa de México. ‘Purpurea’ tiene hojas purpúreas.

Cultivo: Necesitan un sustrato bien drenado y se pueden situar al sol o a semi sombra pero siempre con luz. El riego debe ser moderado y sin llegar a encharcar el sustrato para evitar pudriciones. En cuanto al clima, no soporta temperaturas muy bajas ni heladas.

La tradescantia junto con el ciclamen aportan color a la parte inferior del jardín.

En general, se ha diseñado el jardín vertical con especies vegetales que aportan distintas características visuales. Se combinan diferentes texturas a través de las formas de las hojas y se han plantado especies que aportan volumen y otras en cambio tapizan. Se han añadido plantas colgantes a ambos lados del jardín que pueden aportar sombra a aquellas que se colocan justo en la parte inferior. El color, también juega un papel importante en el valor ornamental del jardín, de forma que se han elegido plantas con distintas tonalidades de verde, rosas y azules, además de épocas de floración que se extienden todo el año.

2.3.2.4. Sistema de riego

El sistema de riego del jardín vertical es por goteo y está formado por tuberías de PVC de 16 mm de diámetro. El agua se distribuye por un ramal principal dispuesto verticalmente en el eje central del jardín. A partir de este ramal se bifurcan a izquierda y derecha ramificaciones que distribuirán el agua a ambas partes del jardín. Las tuberías en los extremos están taponadas y las conexiones se realizan con piezas tipo “T”. En total, se cuenta con dos líneas de riego perforadas que irán colocadas en las pestañas de los módulos (Anexo III) y sus orificios coinciden cada uno con un bolsillo aproximadamente.

La bomba, al estar en continuo funcionamiento, permite tener los módulos impregnados de agua cubriendo así las necesidades hídricas de las plantas. Además, se

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

ha instalado un sistema de riego automático conectado a la toma de agua que hay junto a la pared del jardín, programado para el riego dos veces al día (mañana y tarde) durante 5 min, de modo que, si ocurriese algún fallo en el sistema las plantas estarían regadas (Ilustración 58).

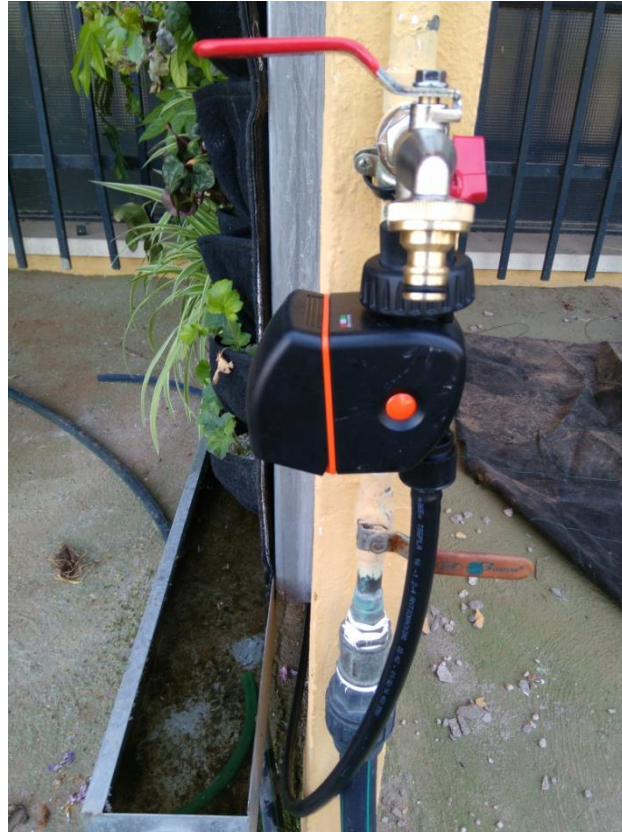


Ilustración 58. Programador de riego automático. Fuente: Propia

El sistema de riego del jardín, está conectado a la bomba del vaso superior del estanque mediante una tubería de 32 mm de diámetro. Cuando el canalón recoge el agua sobrante que cae por gravedad, se evacua por otra tubería hasta el vaso superior.

2.3.2.5. Sustrato utilizado

En el jardín vertical se ha utilizado como sustrato la perlita. Se trata de un mineral natural, sin restos orgánicos en su composición química. La composición química básica es la de un Silicato de Aluminio con pequeñas cantidades de otros elementos como Potasio, Calcio, Magnesio, Fósforo, etc. Es un sustrato muy utilizado para uso agrícola ya que reúne una serie de características que lo hacen más propicio para el

cultivo que otros sustratos. Su densidad aparente es muy baja, aproximadamente igual a 1.1 g/cm^3 y su estructura muy estable, por lo que tiene una alta resistencia mecánica a la erosión, en particular a las provocada por el crecimiento de las raíces. Además, presenta una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, una elevada capacidad de aireación. Es químicamente inerte y de muy baja capacidad de intercambio catiónico. No contiene sales solubles en su composición y tiene un pH neutro a ligeramente ácido (Alarcón, 2000).

2.3.3. Construcción del sistema

Previamente a la construcción, se realizó un croquis (Anexo I) y se planificaron las tareas que se iban a realizar, teniendo en cuenta disponibilidad de materiales y mano de obra.

2.3.3.1. Construcción del vaso superior y cascada

En primer lugar, se comenzó con la construcción del vaso superior del estanque. Se ubicó en la zona más próxima al jardín vertical disponiendo de suficiente espacio para realizar la excavación (Ilustración 59) y que estuviese junto a la toma de agua.



Ilustración 59. Zona de emplazamiento del vaso superior. Fuente: Propia

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Antes de comenzar la obra, se trazó el contorno de la excavación. Con la ayuda de palas y carrillo de mano se transportó la tierra sobrante hacia otras zonas del jardín. Una vez realizada la obra, se retiraron del fondo piedras y objetos que pudiesen punzar el revestimiento. A continuación, se colocó un fieltro, cubriendo el fondo y las paredes del vaso, y justo encima, el revestimiento de PE, con cuidado de que no quedasen demasiadas arrugas. Los bordes quedaron sujetos con tierra de la propia excavación.

Previamente a la colocación del revestimiento se realizó la construcción del muro de contención de aguas. La mezcla, a base de grava, se reforzó con barras de hierro corrugado (Ilustración 60), y justo encima de esta se añadió mezcla (Ilustración 61) en otras proporciones que no contenían grava. Una vez se secó la mezcla, se colocan los bloques de hormigón encima.



Ilustración 60. Base reforzada con hierro corrugado. Fuente: Propia

La lámina de fieltro y el revestimiento de PE se alargaron por el canal de de desagüe del vaso hasta el estanque, ya que por esa zona también circularía el agua. Para simular el muro y dar un aspecto más natural al conjunto, se construyó una cascada a base de piedras. En la zona inferior se colocaron las piedras más grandes y en los huecos y zona superior las de menor diámetro. Se realizaron varios intentos hasta conseguir que la lámina de agua vertiese directamente sobre una piedra, evitando

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

contacto con el suelo (Ilustración 62). La cascada, además de valor estético aporta movimiento, y con esto, oxigenación al agua.



Ilustración 61. Realización de la mezcla de obra. Fuente: Propia

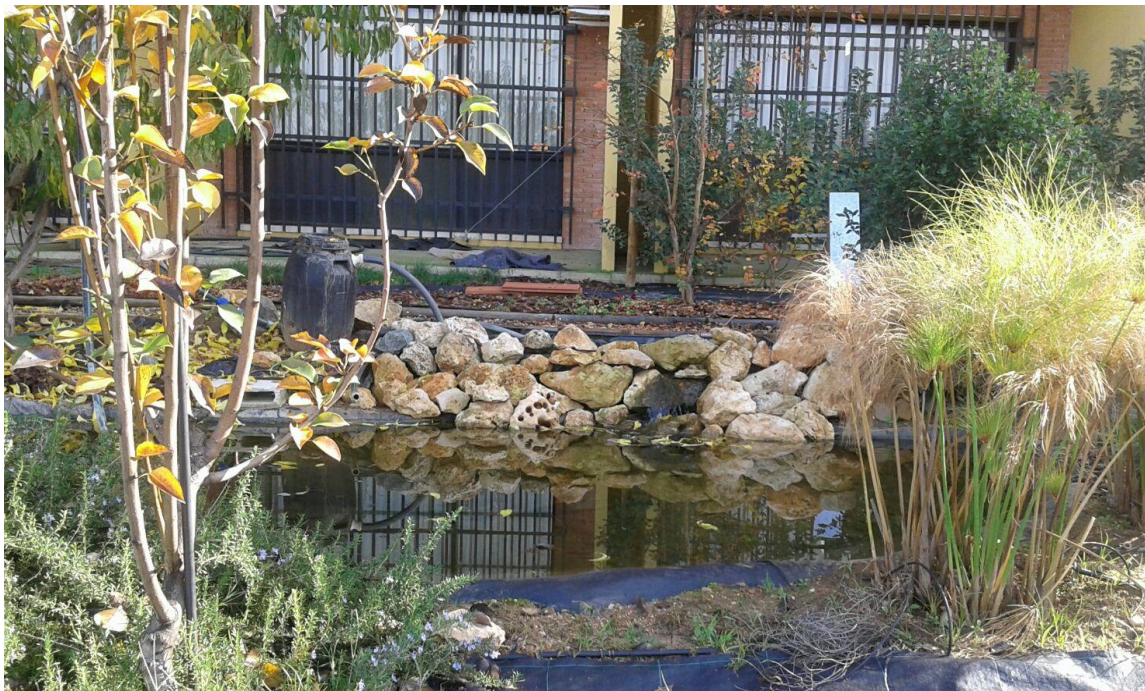


Ilustración 62. Resultado final de la construcción de la cascada. Fuente: Propia

2.3.3.2. Construcción del jardín vertical

Una vez atornillados los módulos a la estructura auxiliar y esta a la pared, se colocaron las líneas de riego.

La época idónea para realizar la plantación del jardín vertical es a principios de primavera o principios de otoño, pero debido a problemas de disponibilidad del material vegetal, la plantación se atrasó a diciembre. En primer lugar, a modo de prueba, se realizó la plantación del 30 % de la superficie, el 28 de diciembre de 2016. Se ha observado el desarrollo de la vegetación, y comprobando que se ha adaptado correctamente a pesar de ser invierno, se ha procedido a realizar la segunda plantación, el 2 de marzo de 2017.

Para realizar la plantación, en primer lugar se prepara el sustrato, en este caso perlita. El saco de perlita se ha agujereado en la parte inferior para que drenase el agua que se ha añadido a modo lavado. A continuación, se ha colocado la fracción de perlita que se iba a usar, sobre una red de plástico y se ha insertado en un cubo con agua para que soltase todo el polvo (Ilustración 63).



Ilustración 63. Red y cubo de agua para lavar la perlita. A la derecha cubo con perlita preparada. Fuente: Propia

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Después se han preparado las plantas. Se aclara el cepellón con agua para dejar la raíz prácticamente desnuda. Las plantas que se podían dividir se separaron en varias partes para cubrir más bolsillos (Ilustración 64).



Ilustración 64. Lavado del cepellón de “Ajuga reptans”. Fuente: Propia

En cada bolsillo del jardín vertical se añadió perlita con la ayuda de una pala metálica, a continuación se introdujo la planta y se rellenó con más perlita presionando un poco en los extremos (Ilustración 65).

Para terminar, se riega el jardín vertical con una manguera para que los restos de perlita caigan al canal, que se mantendrá desconectado del sistema para que no se introduzcan las partículas a la tubería.

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA
QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”**



Ilustración 65. Rellenando bolsillos con sustrato. Fuente propia

3. FUNCIONAMIENTO Y MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA ACUAPÓNICO

3.1. Evaluación de la calidad del agua

pH

Las medidas de pH se hicieron con la finalidad de comprobar la calidad del agua de riego durante el período de ensayo. Por ello, se tomaron medidas de pH tanto del agua que filtraban las plantas como del estanque, para comprobar si existían diferencias. Como se ha comentado anteriormente, antes de comenzar el estudio se realizó una medida de pH que alcanzó 9,9. Con los tratamientos de mantenimiento que se realizaron y los recambios de agua el pH bajó a 8,4 y se mantuvo a ese nivel con pequeñas oscilaciones. A partir de la primera plantación (29 de diciembre), a los 34 días (1 de febrero) una vez que la plantación estaba más adaptada al medio, se comenzaron a tomar las medidas del estudio.

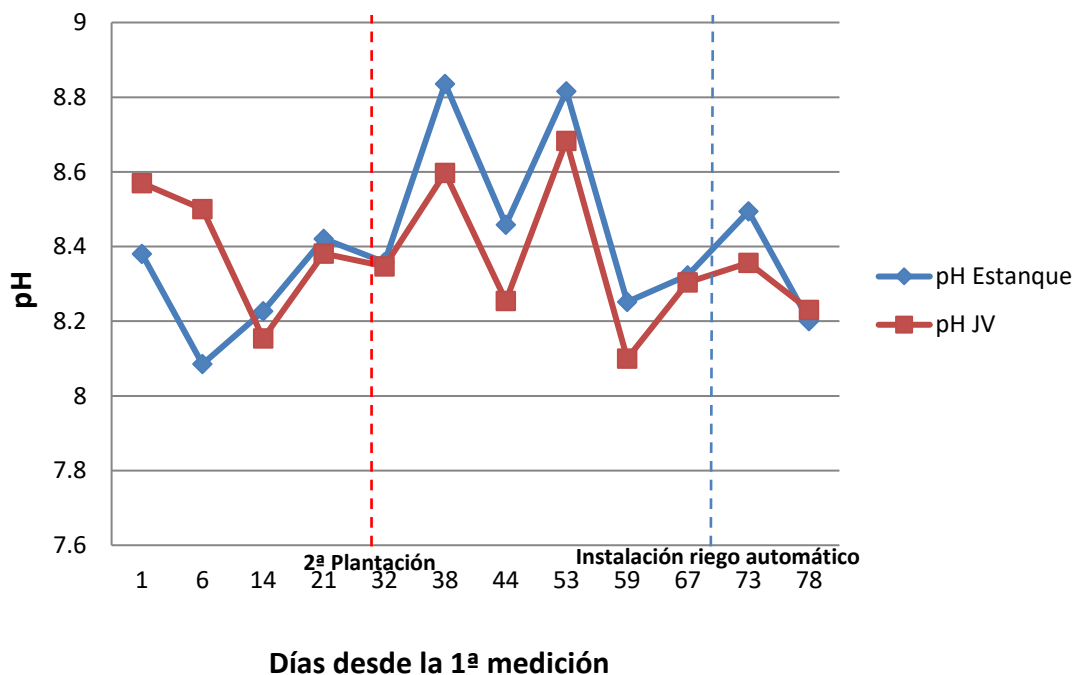


Gráfico 1. Evolución del pH del agua durante el período en el que se realiza el estudio

Los resultados indican que en los 78 días el pH se ha mantenido en un rango de entre 8 y 8,8 (Gráfico 1). Caben esperar resultados similares a estos, ya que el agua con la que se realizan los riegos automáticos y las reposiciones del estanque tiene un pH alcalino de 8,2. En general, el pH en ambos casos ha tendido a subir si se considera como referente el del agua de origen. Este fenómeno puede ser debido a la fotosíntesis del

plancton, las algas y las plantas acuáticas que eliminan el dióxido de carbono del agua elevando así el pH (Cohen *et al.*, 2014). Uno de los picos de pH más elevado coinciden con un momento en el que la bomba del estanque estuvo averiada y el agua se oxigenó en menor medida y, en el otro caso, coincide con un período de mayor temperatura. La baja concentración de oxígeno disuelto en agua desfavorece la actividad microbiana y, por otro lado, el agua estancada junto con temperaturas más elevadas y luz solar directa benefician la proliferación del fitoplancton del estanque. Si bien, como se ha comentado en apartados anteriores, debido a los distintos componentes del sistema acuapónico (peces, plantas y bacterias), el pH óptimo es 7,5 y siempre tendiendo a bajar. Esta bajada se produce naturalmente por la acción de nitrificación, ya que las bacterias, además de consumir el grupo hidroxilo OH^- , liberan iones de hidrógeno H^+ durante la conversión del amoníaco en nitrato. A este proceso se le suma el de la respiración de los peces, que liberan dióxido de carbono en el agua CO_2 , convirtiéndose en ácido carbónico H_2CO_3 al entrar en contacto con ésta (Cohen *et al.*, 2014). En este estudio, este razonamiento puede ser motivo de justificación de por qué el pH del agua recogida en el canal presenta un valor ligeramente inferior al del estanque. Se plantea la hipótesis de que en las raíces de las plantas del jardín vertical anidan numerosas bacterias nitrificantes que hacen que el pH del agua se reduzca.

En conclusión, se puede afirmar que la recirculación del agua y movimiento continuo a través de la cascada favorecen la oxigenación y con ello la actividad microbiana que evitará que el pH aumente y se mantenga en equilibrio dentro del rango anteriormente citado.

CE

Las medidas de conductividad eléctrica fueron tomadas de las mismas muestras de las mediciones de pH. Hasta la mitad del ciclo, se observa que en la mayoría de las muestras tomadas la conductividad eléctrica del jardín es ligeramente menor o igual a la del agua del estanque (Gráfico 2). Este suceso podría ser debido a que el agua, una vez que circula a través de las raíces de las plantas disminuye su concentración de nutrientes, en este caso, las plantas estarían actuando correctamente como biofiltro. Del mismo modo como ocurre con el pH, no se encuentran diferencias significativas entre ambas muestras.

En general, la conductividad eléctrica en un principio ha tendido a bajar, y se baraja la hipótesis de que puede ser debido a que con el aumento de vegetación se absorbieron más nutrientes. Además, reposiciones con agua del grifo con una concentración de sales baja ($210 \mu\text{S}/\text{cm}$) disminuyen la concentración total. A partir del día 44 la

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

conductividad ha tendido a subir, pudiendo ser consecuencia de problemas que hubo con el funcionamiento de la bomba que motivaron unos días sin recircular el agua. Por otro lado, cabe mencionar que en períodos de temperaturas más elevada, se evapora mayor volumen de agua resultando que la conductividad eléctrica aumente. También, en el mes de abril, tuvieron lugar fenómenos de lluvia en los que probablemente se removieron fangos del fondo, se erosionó la tierra del jardín y parte de los sedimentos por escorrentía se depositaron en el estanque, aumentando con ello la concentración de nutrientes en el agua. En los casos en los que la conductividad eléctrica indica un valor más elevado en el jardín vertical que en el estanque, se plantea la hipótesis de que puede ser resultado de una muestra obtenida de agua del canalón que carece de movimiento y se evapora más fácilmente al ser una lámina.

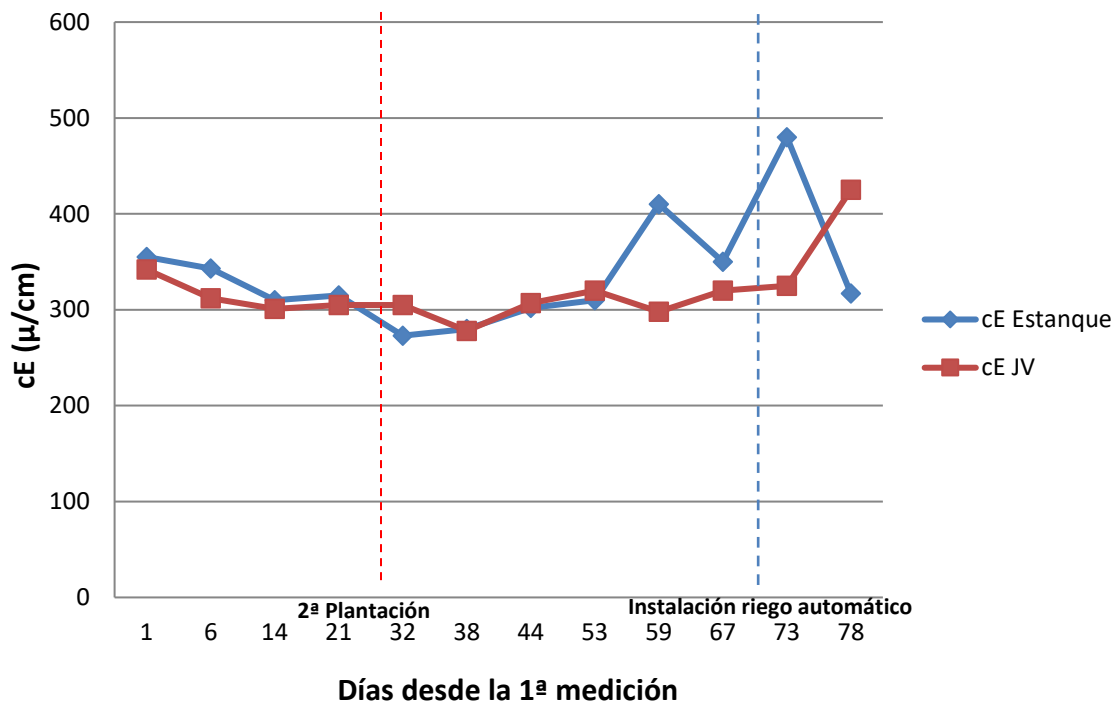


Gráfico 2. Medidas de conductividad eléctrica en el agua del jardín vertical y el estanque

Por lo general, el aspecto visual de la vegetación no es desfavorable, aunque algunas tienen un color más amarillento en hojas que puede ser debido a falta de nitrógeno. Aun así, como se indicó en apartados anteriores, un valor de conductividad eléctrica menor a 750 $\mu\text{S/cm}$ puede provocar carencias en las plantas.

Concentración de nitratos

La concentración de nitrato fue medida con menos frecuencia para encontrar mayor diferencia entre una medida y otra (Gráfico 3). Pese a esta frecuencia de medición, los resultados fueron prácticamente iguales en todas. Al principio, antes de la instalación del jardín vertical, el agua presentaba un nivel bajo de concentración (6 ppm). Una vez se realizó la plantación y se tomaron las medidas el nivel de concentración de nitratos estaba por debajo de 5 ppm, indicándose en el medidor como “LO”. En la segunda medida se detectó un nivel de 5 ppm. Esta concentración a nivel tan bajo puede ser debida a que en el estanque, el número de peces que habitan por litros es menor que el de un sistema acuapónico enfocado a la producción, por tanto, las excreciones son menores. En un sistema al aire libre no se dan las condiciones de temperaturas idóneas para el desarrollo de los peces, en comparación con un sistema cerrado con temperaturas reguladas. Se debe tener en cuenta, que los parámetros se tomaron entre febrero y abril, por lo que las temperaturas no eran las idóneas para el óptimo crecimiento del carpín dorado, que se desarrolla mejor entre los 20-25 °C y con un pH ligeramente alcalino. Además, la nitrificación se ralentiza a temperaturas bajas (Shete *et al.*, 2013).

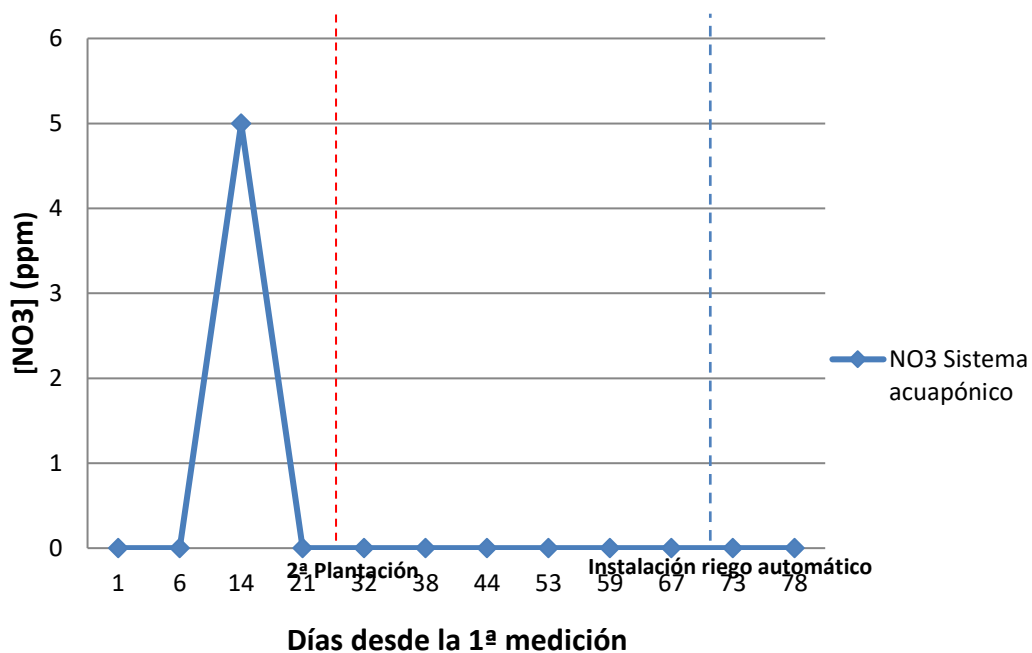


Gráfico 3. Medidas de concentración de nitratos en el agua del estanque

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”



Ilustración 66. Agua del estanque antes de la puesta en marcha del funcionamiento del sistema. Fuente: Propia



Ilustración 67. Agua del estanque una vez puesto en marcha el funcionamiento del sistema. Fuente: Propia

En general, se puede afirmar que la calidad del agua ha mejorado considerablemente con respecto a la fecha en la que aún no se había realizado la construcción del sistema acuapónico (Ilustración 66, Ilustración 67). La limpieza del estanque y la recirculación continua junto con el aporte de oxigenación al agua han mejorado el aspecto visual. Las plantas han contribuido al equilibrio del sistema, regulando pH y beneficiando la acción nitrificante.

3.2. Evaluación del crecimiento y desarrollo vegetal en el jardín vertical

La cobertura vegetal ha alcanzado un 56,37 % de la superficie del jardín vertical. Teniendo en cuenta que sólo han transcurrido 112 días desde la primera plantación y que se realizó en invierno, podemos afirmar que el desarrollo de la vegetación ha sido correcto. La primera foto ha sido tomada a los 28 días de la primera plantación, para poder observar mejor la evolución. En ese periodo de tiempo tan solo aumentó de 13,78 % a 14,3 % de cobertura vegetal, por lo que al principio las plantas tuvieron un desarrollo lento. La segunda plantación se realizó a los 64 días cubriendo un 30 % de la superficie. A partir de esa fecha, y con temperaturas más favorables, la plantas han ido creciendo cada vez más (Gráfica 4).

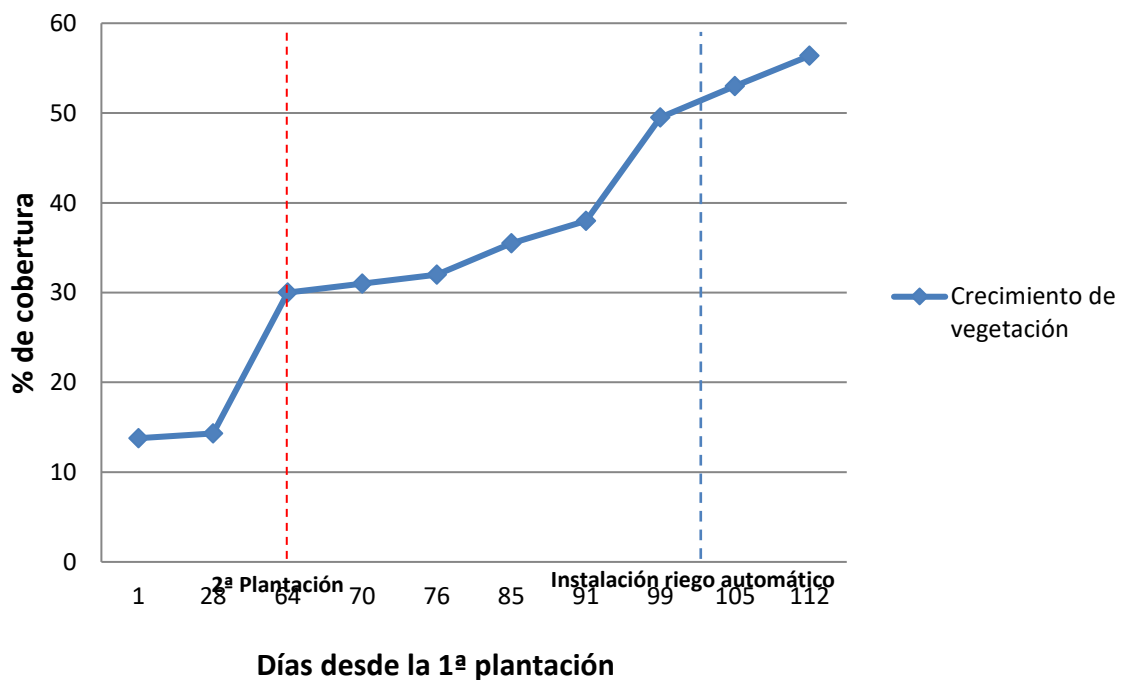


Gráfico 4. Evolución de la cobertura vegetal desde el primer día de plantación

La calidad ornamental mayoría de las plantas es adecuada y sólo se han detectado algunas marras en *Carex flacca*. *Asparagus sprengheri* presenta alguna de sus hojas con color amarillento, que puede ser debido a carencia de nitrógeno o a la exposición del sol. *Ficus pumila* y *Acanthus mollis* están teniendo un desarrollo más lento que el resto de vegetación, aun así, presentan buen aspecto. *Soleirolia soleirolii* y *Ajuga reptans* han cubierto la superficie rápidamente, y las plantas de la zona inferior

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

izquierda (*Monstera deliciosa*, *Fatsia japonica*) han alcanzado un gran volumen con respecto al inicio (Ilustración 68).

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”



64 días



70 días



76 días



85 días



91 días



99 días



105 días



112 días



127 días

*Ilustración 68. Evolución de la cobertura vegetal desde el primer día de plantación.
Fuente: Propia*

3.3. Resultados de las encuestas a los alumnos

Preguntas personales de carácter general

Las preguntas personales de carácter general han permitido conocer algunas características del alumnado encuestado. El 59 % de la totalidad eran hombres, y el 41 % eran mujeres, de los cuales, el 62.6 % habían pasado ya al tercer curso y pertenecían a una de las dos especialidades de Ingeniería Agrícola. De esta última muestra, el 30 % estaban estudiando la especialidad “Hortofruticultura y Jardinería” y el 70 % restante estudiaban “Explotaciones Agropecuarias”. La edad media del encuestado es de 23 años y la mayoría acude a la escuela diariamente. Con esta información se corrobora que el perfil del encuestado no está delimitado, más bien se trata de una muestra homogénea que aportará una información más real.

¿Cuál es su opinión acerca de la estética del jardín exterior/delantero de la ETSIA?

En esta pregunta se ha tenido en cuenta la totalidad de la muestra. Está enfocada a determinar el grado de percepción estética que los alumnos tienen acerca de la zona de emplazamiento donde se realiza el proyecto. Un aspecto positivo del entorno realzaría el valor ornamental del jardín vertical. Más del 75 % de los alumnos lo valoran positivamente, siendo un porcentaje mínimo (2.3 %) el que lo valora como “Muy deficiente” (Gráfico 5).

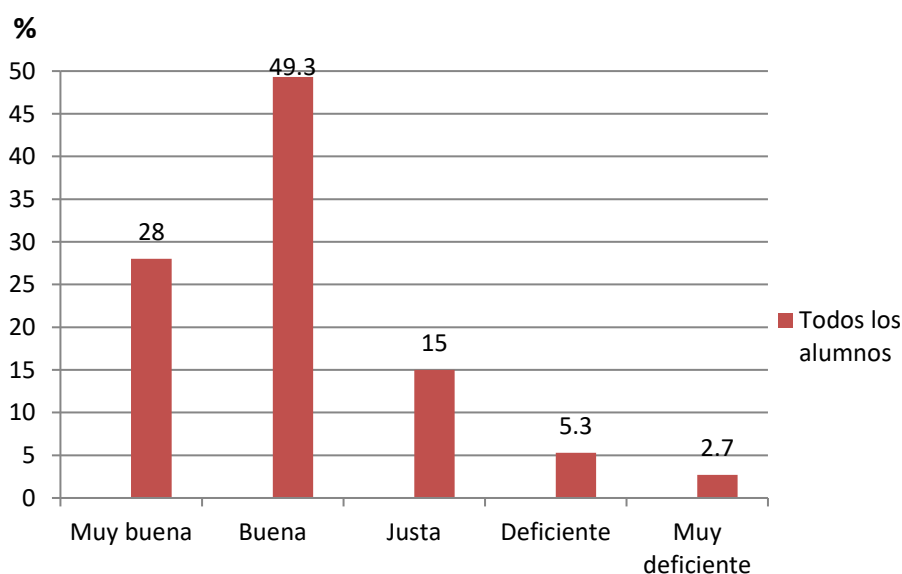


Gráfico 5. Valoración de la estética del jardín delantero de la ETSIA

¿Conoces el jardín vertical que está instalado en el jardín exterior de la escuela?

De nuevo, en esta pregunta resulta más interesante tener en cuenta la totalidad de los encuestados sin realizar perfiles. La mayoría de los alumnos conocían el jardín vertical base del proyecto, por lo que las siguientes preguntas fueron contestadas con mayor convicción (Gráfico 6). Aun así, se explicó el objetivo del proyecto y el funcionamiento.

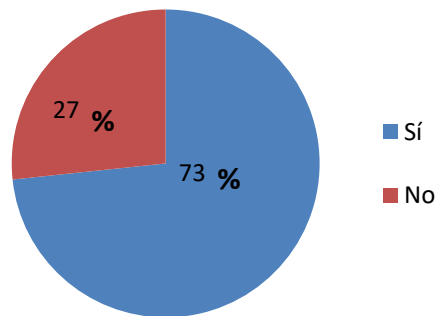


Gráfico 6. Evaluación de alumnos que conocen el jardín vertical base del proyecto

¿Qué conocimientos previos tiene acerca de jardines verticales y acuaponía?

La pregunta se realiza con la intención de valorar los conocimientos de los alumnos acerca de los sistemas en los que se basa el proyecto de estudio. Por ello, se divide en tres partes: conocimientos de jardines verticales, conocimientos de acuaponía y conocimientos de la combinación de ambos sistemas. A continuación, una vez respondida esta cuestión se les aporta la definición de “Combinación de ambos sistemas” a través de la explicación del objetivo del proyecto. Para obtener una información más exacta, se han realizado dos perfiles, “Alumnos de 1º y 2º” y “Alumnos de 3º y 4º”, de este modo, se pueden comparar las respuestas según los conocimientos adquiridos durante los cursos estudiados. Los porcentajes se han calculado con respecto al total de alumnos de cada muestra, como se ha comentado anteriormente, el 62.6 % ya pertenecen al segundo ciclo.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

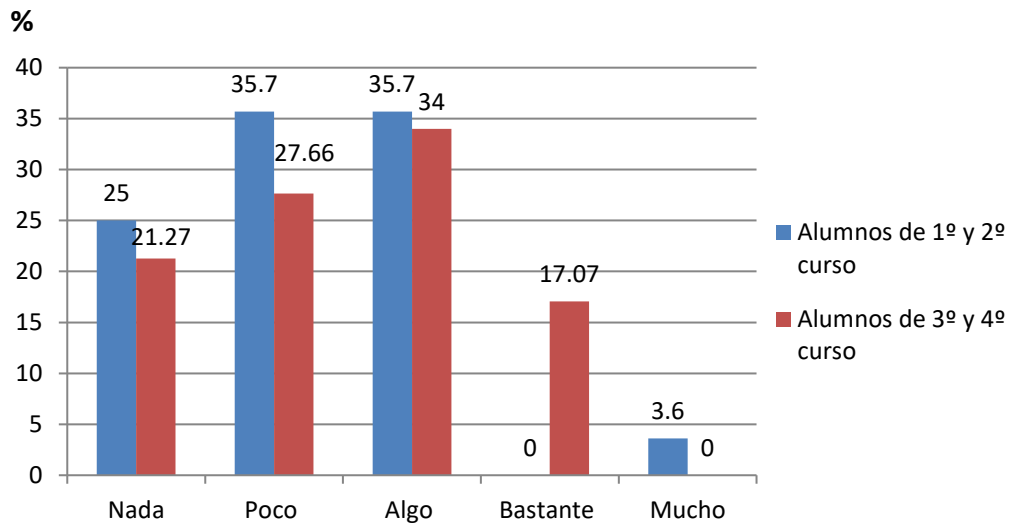


Gráfico 7. Evaluación de conocimientos acerca de jardines verticales

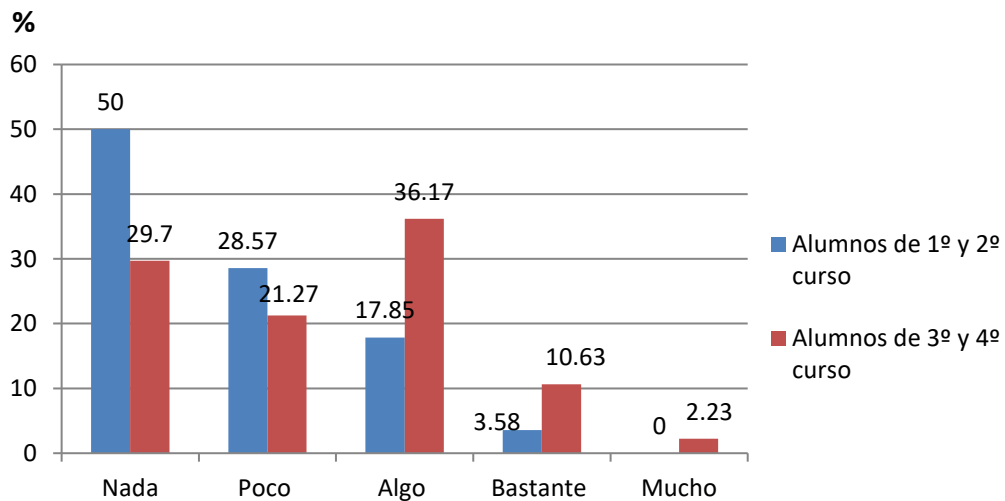


Gráfico 8. Evaluación de conocimientos acerca de acuaponía

En el gráfico 7, aproximadamente el 50 % de ambos perfiles seleccionados han contestado “Nada” y “Poco” al conocimiento de jardines verticales. Alrededor del 35 % de ambos han respondido “Algo” y en menor medida “Bastante” y “Mucho”, siendo ésta última sorprendentemente más frecuente en alumnos de 1º y 2º curso. En general, no se han encontrado diferencias significativas acerca de los conocimientos de jardinería vertical entre los dos perfiles, dato del que se deduce que esta tecnología es cada vez más conocida y de la que se puede obtener información fácilmente a través de artículos divulgativos u otros medios. Por otro lado, estos porcentajes también pueden indicar que alumnos de 3º y 4º curso que ya han estudiado asignaturas de

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Jardinería y Paisajismo, tienen una instrucción más técnica acerca de este sistema de jardinería y, por tanto, son más objetivos a la hora de medir sus conocimientos.

En el gráfico 8, sí se observan más diferencias entre los dos perfiles acerca del conocimiento en acuaponía. La mayor parte de los alumnos de 3º y 4º han respondido “Algo”, mientras que los alumnos de 1º y 2º han respondido “Nada”. A diferencia de la jardinería vertical, es un sector que está enfocado preferentemente a la producción alimentaria, por lo que principalmente solo resulta atractivo para las personas que se dedican o tienen vinculación con este sector. La mayor parte de la información se obtiene a través de conocimientos académicos, por lo que los alumnos de cursos superiores tienen más experiencia.

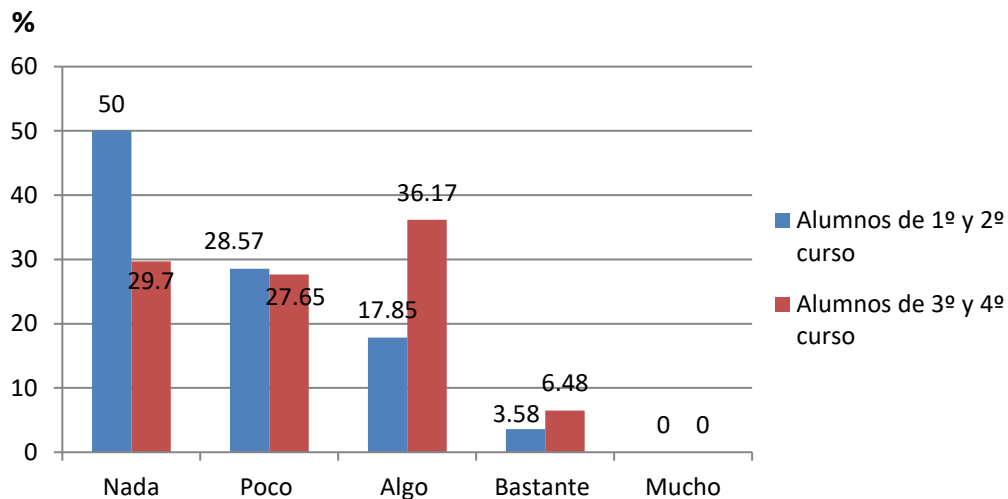


Gráfico 9. Evaluación de conocimientos acerca de la combinación de jardines verticales y acuaponía

El gráfico 9 aporta resultados similares al gráfico 8. El 50 % de los alumnos de 1º y 2º no conocen la combinación de jardines verticales con acuaponía y, en el caso de los alumnos de 3º y 4º la respuesta más frecuente es “Algo”. Sorprendentemente, a pesar de ser un sistema innovador, existe una pequeña muestra en ambos perfiles que han respondido “Bastante”, pudiendo ser la razón de dicho dato, la divulgación de este proyecto o el conocimiento de sistemas similares.

¿Crees que la instalación de un jardín vertical aporta valor estético al conjunto del jardín delantero de la ETSIA?

Esta pregunta es una de las más importantes del cuestionario, ya que su resultado definirá el grado de satisfacción de este proyecto en la escuela. La intención es conocer

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

la opinión del alumnado acerca de la instalación de un jardín vertical en un entorno ajardinado, y poder compararse con la pregunta número 2, donde sólo se tiene en cuenta la estética del jardín convencional (Gráfico 10). En este gráfico se ha tenido en cuenta porcentajes en relación con el total de encuestados.

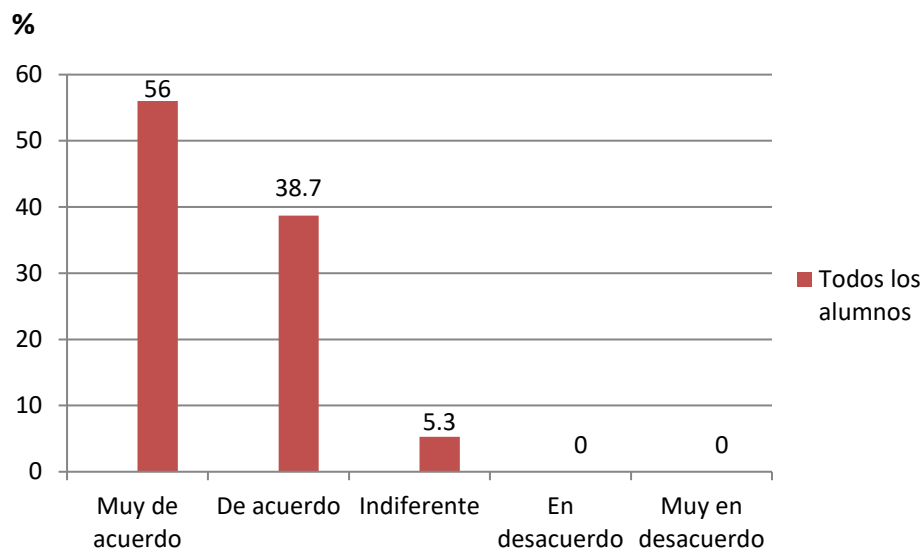


Gráfico 10. Evaluación de los alumnos acerca de la estética que aporta el jardín vertical al conjunto

Al igual que la pregunta número 2, se ha valorado positivamente, siendo 0 % el porcentaje para las respuestas más desfavorables.

¿Piensas que este sistema aportaría beneficios?

Esta pregunta está enfocada a conocer el grado de percepción existente en cuanto a este proyecto de innovación basado en la jardinería vertical. Con los resultados (Tabla 1) se pueden analizar la opinión de los alumnos respecto a los beneficios numerados y comprobar cuáles resultan más obvios y cuáles más ambiguos, a pesar de que exista la posibilidad de que gran parte de los encuestados tengan pocos conocimientos sobre jardinería vertical.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR”

Tabla 1. Porcentajes de la frecuencia de cada opinión (%)

Beneficios	Definitivamente sí	Probablemente sí	Indeciso	Probablemente no	Definitivamente no
Mejora la calidad del aire	30,95 %	36,9 %	11,9 %	8,33 %	11,9 %
Eficiencia energética	42,66 %	49,33 %	6,66 %	1,33%	0 %
Efecto ecológico	24 %	53,33 %	8 %	13,33 %	1,33 %
Mejora de la sostenibilidad del jardín	37,33 %	50,66 %	10,66 %	1,33 %	0 %
Eficacia como biofiltro	44 %	33,3 %	20 %	2,66 %	0 %
Innovación de nuevas tecnologías	58,66 %	36 %	5,33 %	0 %	0%
Estético	72 %	24 %	4 %	0 %	0 %

Los beneficios “Estético” e “Innovación de nuevas tecnologías” son valorados positivamente con mayor convicción “Definitivamente sí”, probablemente porque se trata de beneficios visibles y que tienen un efecto inmediato. Los beneficios que necesitan un periodo de tiempo para confirmar su efecto ó, que son justificados a través de estudios y ensayos, son más dudados a la hora de afirmar su efecto, por tanto, el resto tienen con mayor frecuencia las respuestas “Probablemente sí” e “Indeciso”. Los beneficios “Mejora la calidad del aire” y “Efecto ecológico” son los que obtienen mayor frecuencia en valoraciones negativas en cuanto al resto de beneficios, 20.23 % y 14,66% respectivamente, siendo estos, unos de los más importantes a nivel científico.

¿Crees que la integración de la acuaponía con la jardinería vertical es una tecnología innovadora que ofrece nuevas oportunidades?

Para cerrar el cuestionario se realizó esta pregunta que fue valorada positivamente (Gráfico 11). Más del 90 % opinaron “Muy de acuerdo” y “De acuerdo” por lo que se puede concluir que el sistema resulta interesante para casi la totalidad del alumnado, pudiendo ofrecer una oportunidad de aprendizaje y servir de base para futuras investigaciones y mejoras.

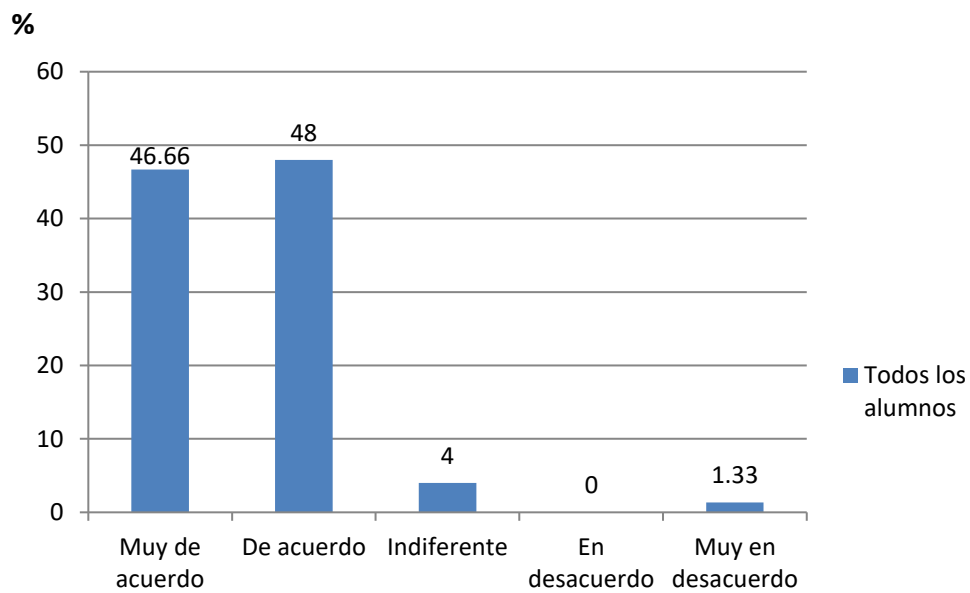


Gráfico 11. Evaluación de la opinión de los alumnos acerca de las nuevas oportunidades que puede ofrecer el sistema acuapónico ornamental

4. CONCLUSIONES

- La combinación del jardín vertical con el estanque mediante el sistema acuapónico ha tenido una influencia positiva en la calidad del agua.
- Las labores de mantenimiento y reposición de agua mejoraron considerablemente la calidad de la misma. El pH del agua pasó de 9.9 a 8.4
- Con el sistema acuapónico, el pH del agua se ha mantenido en equilibrio dentro del rango alcanzado con las labores de mantenimiento, por lo que se deduce que el proceso de nitrificación funciona adecuadamente.
- El contenido de nutrientes disueltos en el agua no ha sido suficiente para evitar carencias en las plantas. El volumen de agua del estanque tiene capacidad para un mayor número de peces.
- Para conseguir mejores resultados del desarrollo de la vegetación, sería necesario aumentar la conductividad eléctrica, por ejemplo a través de la adicción de más ejemplares de peces al estanque y controlando su alimentación.
- Este sistema acuapónico al aire libre cuenta con un mayor número de factores que podrían desequilibrar su estado, como los fenómenos meteorológicos y proliferación de algas.
- El desarrollo de la vegetación ha sido adecuado, alcanzándose una cobertura del 56.37 % a los 112 días de la plantación.
- La mayoría de alumnos han valorado positivamente la instalación de un jardín vertical, sobre todo por el beneficio estético.
- Tras explicar los objetivos del proyecto, la mayoría de los alumnos, basándose en sus conocimientos previos con respecto sistema, afirmaron que puede ser una tecnología innovadora que ofrece nuevas oportunidades.

5. BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, A.L. 2000. Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Novedades agrícolas. Torre Pacheco, Murcia.

Alexandri, E. y Jones, P. 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment. 43: 480-493.

Argimon, X. y Farré, C. 2008. 700 Plantas trepadoras. Horticolor, Lyon.

Ballester-Olmos, J.F. 1992. Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia. Hojas divulgadoras, num.11/92 HD. Disponible en:

http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_11.pdf
[Visitado Abril 2017]

Bass B. y Baskaran B. 2001. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas, Institute for Research and Construction. Ottawa, Canada.

Disponible en: <<https://www.nps.gov/tps/sustainability/greendocs/bass.pdf>> [Visitado Marzo 2017]

Bernal-Melo, I.; García-Rico, E. y Soto-Zarazúa, G. 2008. Sistema de producción mixta Hortícola-acuícola. Facultad de Ingeniería. Departamento de Posgrado. Universidad Autónoma de Querétaro.

Disponible en: <<http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2008/2VeranoIntroduccion/2BernalMelo.pdf>> [Visitado Marzo 2017]

Blanc, P. 2008. Le mur végétal : de la nature à la ville. Michel Lafon, Paris.

Blasco-Romero, A. 2016. Valoración del impacto social de un jardín vertical instalado en un hospital. Trabajo fin de grado. Universidad de Sevilla.

Brickell, C. y Cole, T. 2002. American Horticultural Society Encyclopedia of plants & flowers. Dorling Kindersley, London.

Briz, J. 2004. Naturación urbana : cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Segunda edición. Mundiprensa, Madrid.

Buttlar, A. 1993. Jardines del Clasicismo y el Romanticismo: el jardín paisajista. Nerea, Madrid.

Caló, P. 2011. Introducción a la acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, Argentina. Disponible en: <<http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>> [Visitado Marzo 2017]

Carta de Aalborg, 1994. Carta de las ciudades europeas hacia la sostenibilidad. In Conferencia europea sobre Ciudades Sostenibles (Vol. 27). Disponible en: <<http://www.ecourbano.es/imag/REF%20CARTA%20DE%20AALBORG.pdf>> [Visitado Febrero 2017]

Chinchayán-Robles, M., Rodríguez-Rest, C., Vargas-Cárdenas, J., y Ramos-Vásquez, M. 1993. Inducción y análisis químico de la pigmentación, en *Carassius auratus* raza Shubunkin. V. 15 (87) p. 75-80.

Cohen, M., Somerville, C., Pantanella, E., Stankus, A., y Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome. Disponible en: < <http://www.fao.org/3/a-i4021e/index.html>> [Visitado Marzo 2017].

Colagrosso, A. 2014. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala. Youcanprint Self-Publishing, Tricase, Lecce, Italia. Disponible en: <http://www.elfinancierocr.com/negocios/Manual-desarrollo-cultivo-acuaponico_ELFFIL20140113_0001.pdf> [Visitado Marzo 2017].

Corral, F. 2015. Burle Marx, paisajes de agua. General Ediciones de Arquitectura, Valencia.

Darlington, A.; Chan, M.; Malloch, D.; Pilger, C. y Dixon, M. 2000. The Biofiltration of Indoor Air: Implications for Air Quality. *Indoor Air* 10 (1) :39-46.

de la Cadena, F. P. 1998. Historia de los estilos en jardinería (No. 84). Ediciones AKAL.

Dinsdale, S., Pearen, B., y Wilson, C. 2006. Feasibility study for green roof application on Queen's University campus. Queen's physical plant services. Kingston, Ontario, Canadá.

Dunnett, N. y Kingsbury, N. 2004. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber press. Portland, Oregon, USA

Fariñas-Vera, G. 2007. Estudio técnico sobre la función, uso y estado de los elementos ornamentales de agua presentes en los jardines históricos de la ciudad de Sevilla. Proyecto Final de Carrera. Universidad de Sevilla

Fernández-Barba, C. 2010. Estudio de las actitudes y preferencias de la población hacia las diversas técnicas de la jardinería encaminadas al enverdecimiento urbano. Proyecto Final de Carrera. Universidad de Sevilla

- Fernández-Cañero, R. 2015a. Historia de la jardinería. Fundamentos del paisajismo. Universidad de Sevilla
- Fernández-Cañero, R. 2015b. Elementos del jardín en el diseño. Fundamentos del paisajismo. Universidad de Sevilla
- Fernández-Cañero, Pérez-Urrestarazu, L. y Franco-Salas, A. 2015. Naturación Urbana y Jardinería Vertical: De las fachadas verdes a los muros vegetales. Revista PARJAP. 80: 6-11.
- Francis, R.A. y Lorimer, J. 2011. Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls. Journal of Environmental Management. 92 (6): 1429-1437
- García-Villalobos, I. 2009. Cubiertas verdes. Tesis de Licenciatura, UNAM, México Disponible en: <http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/251/BENEFICIOS_SISTEMAS_NATURACION_ILSE.pdf> [Visitado Febrero 2017]
- Gayo-Martínez Nieto, I. 1998. Uso de arcilla expandida en filtros biológicos. Ingeniería Química. 30(347), 127-130.
- González, R. 2009. Huerta casera: manual de hidroponía popular. EUNED, San José, Costa Rica.
- Hidalgo-Romero, F. 2016. Tema V: Diseño y ejecución de proyectos de naturación. Curso Naturación Urbana: Jardines Verticales y Techos Verdes. IFAPA. Palma del Río, Córdoba, 16may-20may.
- Higueras, E. 2009. El reto de la ciudad habitable y sostenible. DAPP, Pamplona.
- Hoffmann, H. y Roehrich, K. 2015. Agricultura y jardinería en Berlín, pp. 171-189. En: Briz, J. y Felipe, I. (eds.). Agricultura urbana integral: ornamental y alimentaria : una visión global e internacional. Centro de publicaciones, Madrid.
- Hong, Z., Hanaki, K. y. Matsuo, T. 1994. Greenhouse gas-N₂O production during denitrification in wastewater treatment. Water Sci. Technol. 28:203-207.
- Jellicoe, G. 2004. El paisaje del hombre: la conformación del entorno desde la prehistoria hasta nuestros días. Gustavo Gili, Barcelona.
- Köhler, M. 2008. Green facades—a view back and some visions. Urban Ecosyst 11: 423-436

Lennard, W. 2017. Aquaponic Fact Sheets. Aquaponic solutions. Disponible en: <<http://www.aquaponic.com.au/fact%20sheets.htm>> [Visitado Enero 2017]

Linnaeus, C. 1978. Pez dorado. MAPAMA. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/carassius_auratus_linnaeus_1758_tcm7-286332.pdf> [Visitado Marzo 2017].

Lobón-Cerviá, J. 1989. Pez dorado. MAGRAMA. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/carassius_auratus_linnaeus_1758_tcm7-286332.pdf> [Visitado Marzo 2017].

Losordo, T.M. y Timmons, M.B. 1994. Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management. Elsevier. Affiliations and Expertise, Cornell University, Ithaca, NY, USA ó North Carolina State University, Raleigh, NY, USA.

Losordo, T., Masser, M. y Rakocy, J. 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. A Review of Component Options. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication No 453. Disponible en: <<http://www2.ca.uky.edu/wkrec/453fs.PDF>> [Visitado Marzo 2017].

Loh, S. 2008. LivingWalls – A Way to Green the Built Environment. BEDP Environment Design Guide. TEC 26, Australia. Disponible en: <<http://www.environmentdesignguide.net.au/media/TEC26.pdf>> [Visitado Marzo 2017]

Losordo, T., Masser, M. y Rakocy, J. 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication No 454. Disponible en: <<http://www2.ca.uky.edu/wkrec/454fs.pdf>> [Visitado Marzo 2017]

Machado, M.; Brito, C. y Neila, J. 2000. La cubierta ecológica como material de construcción. Informes de la Construcción. Vol 52. No 467

Mateus, J. 2009. Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. Red Hidroponía, Boletín No 44: 7-10, Lima, Perú.

Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/redhidro/boletin44/44_acuaponia.pdf> [Visitado Marzo 2017]

Molina-Burgos, B. 2015. Proyecto de un vivero ecológico en Dos Hermanas para el suministro de plántulas a los huertos ecológicos Montequinto del Ayuntamiento de Dos Hermanas (Sevilla) y de municipios cercanos. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Sevilla.

Minke, G. 2012. Muros y fachadas verdes, jardines verticales : sistemas y plantas, funciones y aplicaciones. Icaria, Barcelona

Mohamed-Sheweka, S. y Magdy-Mohamed, N. 2012. Green facades as a new sustainable approach towards climate change. Energy procedia, 18, 507-520. Disponible en:< <https://m3db.files.wordpress.com/2016/04/green-facades-sheweka-energy-procedia18.pdf> > [Visitado Febrero 2017]

Newton, J. y Johnston, J. 2004. Building Green. A guide to using plants on roofs, walls and pavements. Greater London Authority, London

Núñez, G. S. V. 2016. Elaboración y determinación de la eficiencia de dos filtros biológicos evaluados en un cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en sistemas de recirculación acuícola. Ensenada, Baja California

Oguchi, M. 2008. El jardín japonés. De Vecchi, Barcelona.

Olivieri, F. y Bedoya, C. 2015. Beneficios energéticos de las paredes vegetales, pp. 427-438. En: Briz, J. y Felipe, I. (eds.). Agricultura urbana integral : ornamental y alimentaria: una visión global e internacional. Centro de publicaciones, Madrid.

Páez, F. 1998. Historia de los estilos en jardinería. Istmo, Madrid

Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M. & Cabeza, J.F. 2011 Energy efficiency of green roofs and green facades in Mediterranean continental climate. Dept. Construccions Arquitectòniques I. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Disponible en:<https://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/effstock09/Session_11_1_Case%20studies_Overviews/102.pdf> [Visitado Marzo 2017]

Pérez-Urrestarazu, L., Fernández-Cañero, R., Franco-Salas, A., & Egea, G. 2015. Vertical greening systems and sustainable cities. Journal of Urban Technology, 22(4), 65-85.

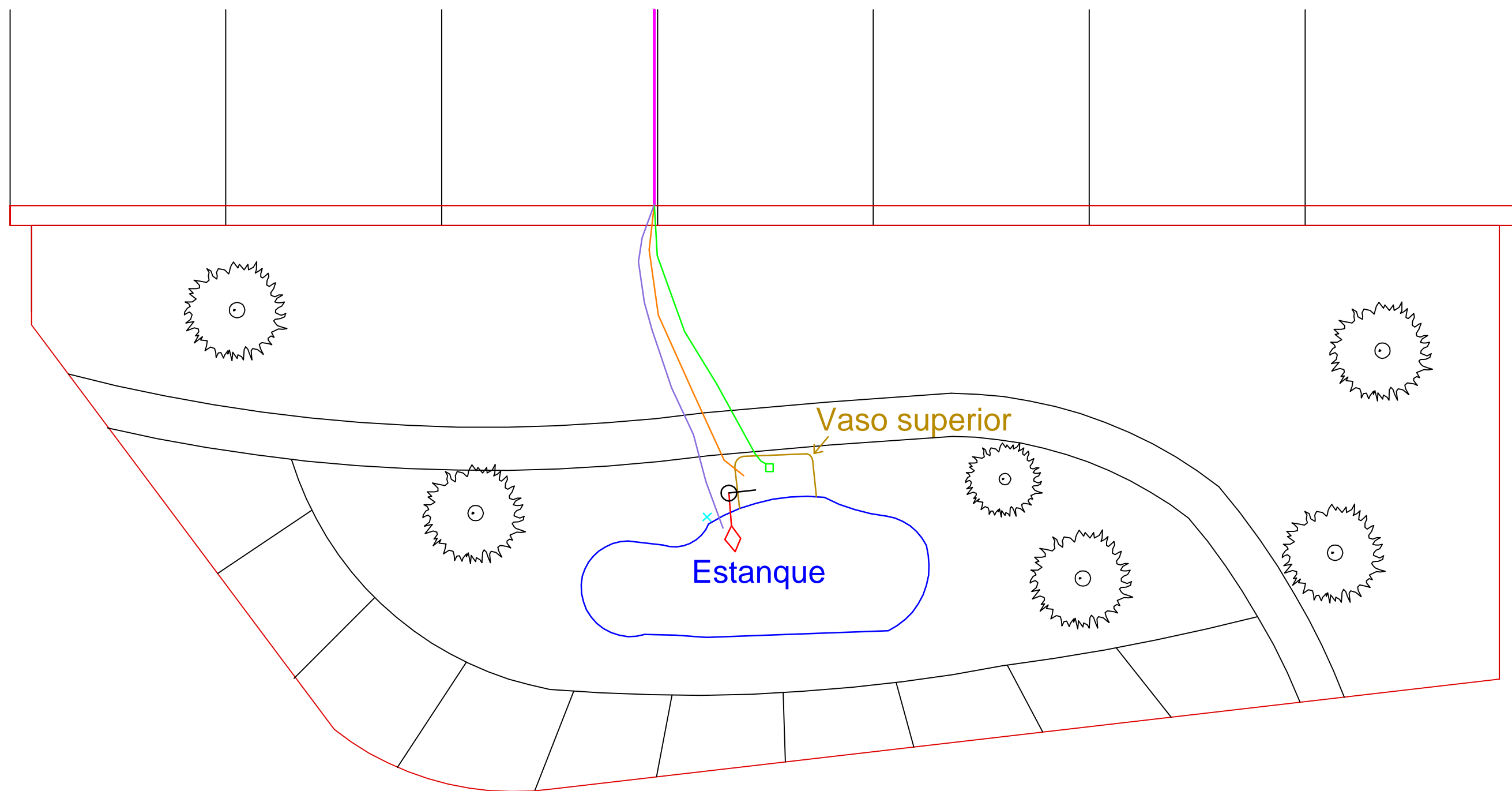
Peters, S. 1860. Poecilia reticulate. MAGRAMA. Disponible en:< http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/poecilia_reticulata_peters_1860_tcm7-286403.pdf > [Visitado Marzo 2017]

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 1998. Informe sobre desarrollo humano. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. Disponible en:<<https://derechoalaconsulta.files.wordpress.com/2012/02/pnud-informe-1998-versic3b3n-integral.pdf>> [Visitado Febrero 2017]

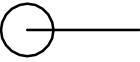


- Ros, S. 2006. La empresa de jardinería y paisajismo: mantenimiento y conservación de espacios verdes (3a. ed.). Mundi-Prensa, Madrid.
- Rubió y Tudurí, N. 2000. Del paraíso al jardín latino: Origen y formación del moderno jardín latino. Tusquets, Barcelona.
- Salvador-Palomo, P.J. 2003. La planificación verde en las ciudades. Gustavo Gili, Barcelona.
- Sánchez, J.M. 2001. Guía de las plantas ornamentales. Mundi-Prensa, Madrid.
- Shete, A. P., Verma, A. K., Tandel, R. S., Prakash, C., Tiwari, V. K., y Hussain, T. 2013. Optimization of water circulation period for the culture of goldfish with spinach in aquaponic system. Journal of Agricultural Science, 5(4), 26.
- Soto-Bravo, F. y Ramírez-Azofeifa, M. 2002. Hidroponía. Instituto Nacional de Aprendizaje, San José, Costa Rica.
- Stenstrom, M. y Poduska, R. 1980. The effect of dissolved oxygen concentration on nitrification. Water Res. 14:643-649.
- Swindells, P. 2002. The master book of the water garden : the ultimate guide to designing and maintaining water gardens. Bulfinch Press, Boston.
- Swindells, P. 2009. Jardines acuáticos. Susaeta, Madrid.
- Timmons, M. B., y Ebeling, J. M. 2007. Recirculating aquaculture.
- Tito-Rojo, J. y Casares-Porcel, M. 2011. El jardín hispanomusulmán: los jardines de Al-Andalus y su herencia. Universidad de Granada.
- Urrestarazu, M. 2003. Tratado de cultivo sin suelo. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelos en relación al suelo. Manual de cultivo sin suelo. Mundiprensa, Madrid.
- Utard, J. 2001. Estanques y jardines acuáticos. Susaeta, Madrid.
- Vega-Revenga, E. 2012. Metodología para el diseño, ordenación y planificación del medio natural. Curso de gestión del paisaje. Colegio de Ingenieros de Montes, Córdoba, 20 feb-30 marzo de 2012.
- Vetešník, L. 2002. Several biological characteristic of *Carassius auratus*

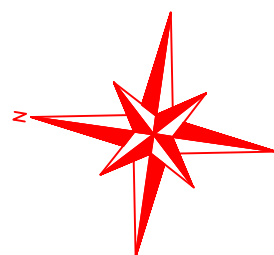
ANEXOS

ANEXO I



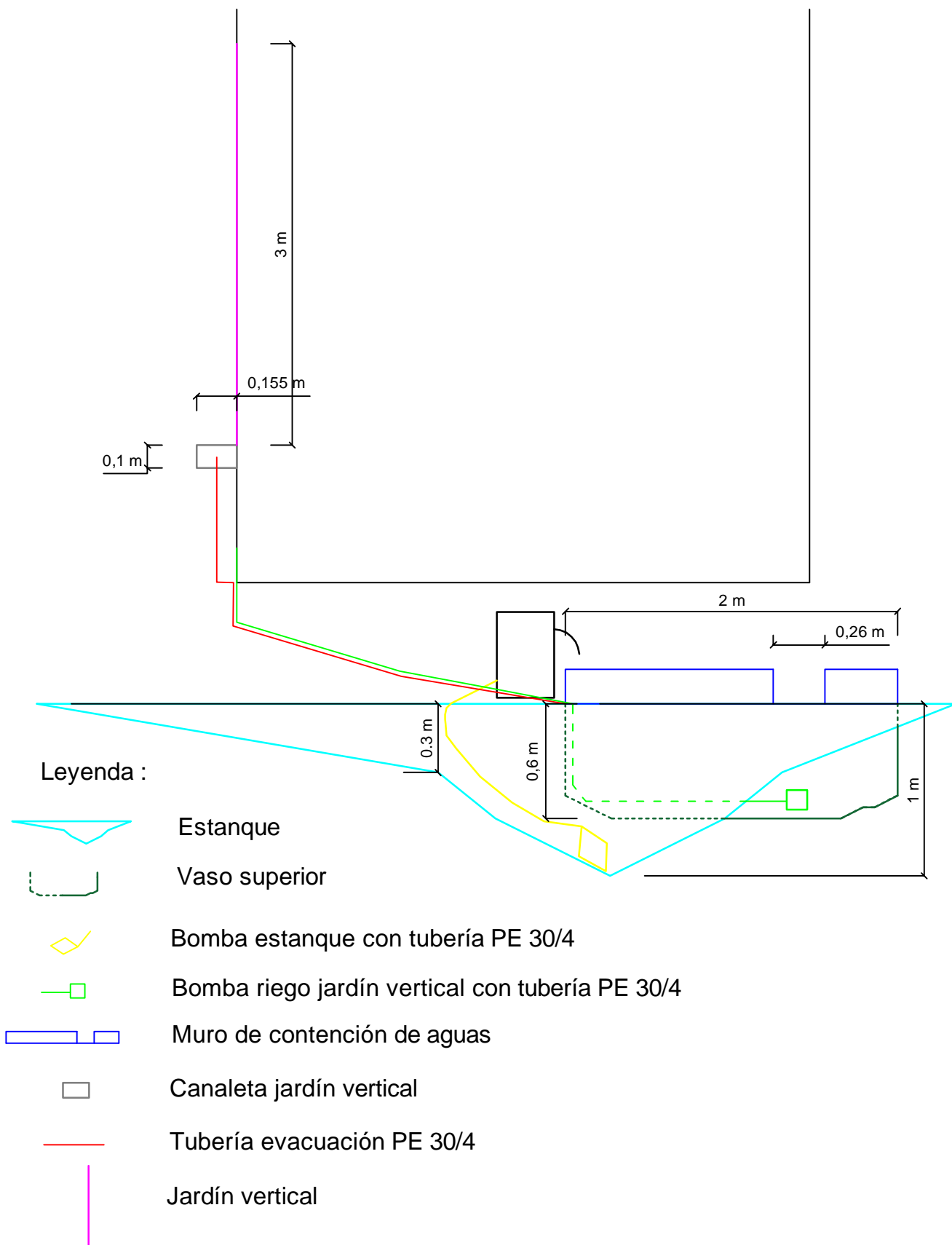
Leyenda:

- Estructura jardín vertical
- Tubería bomba del estanque PE 30/4
- X Toma eléctrica
- Tubería de evacuación PE 30/4
- Tubería de reposición de agua PE 30/4
- Tubería de riego jardín vertical PE 30/4
-  Biofiltro
-  Bomba estanque
-  Bomba riego jardín vertical



Autora: Ana María González Bernúdez	Firma:	Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior.
Croquis: Planta Sistema acuapónico		Fecha: 1/ Junio/2017

ANEXO II



Autora:
Ana María González Bernúdez

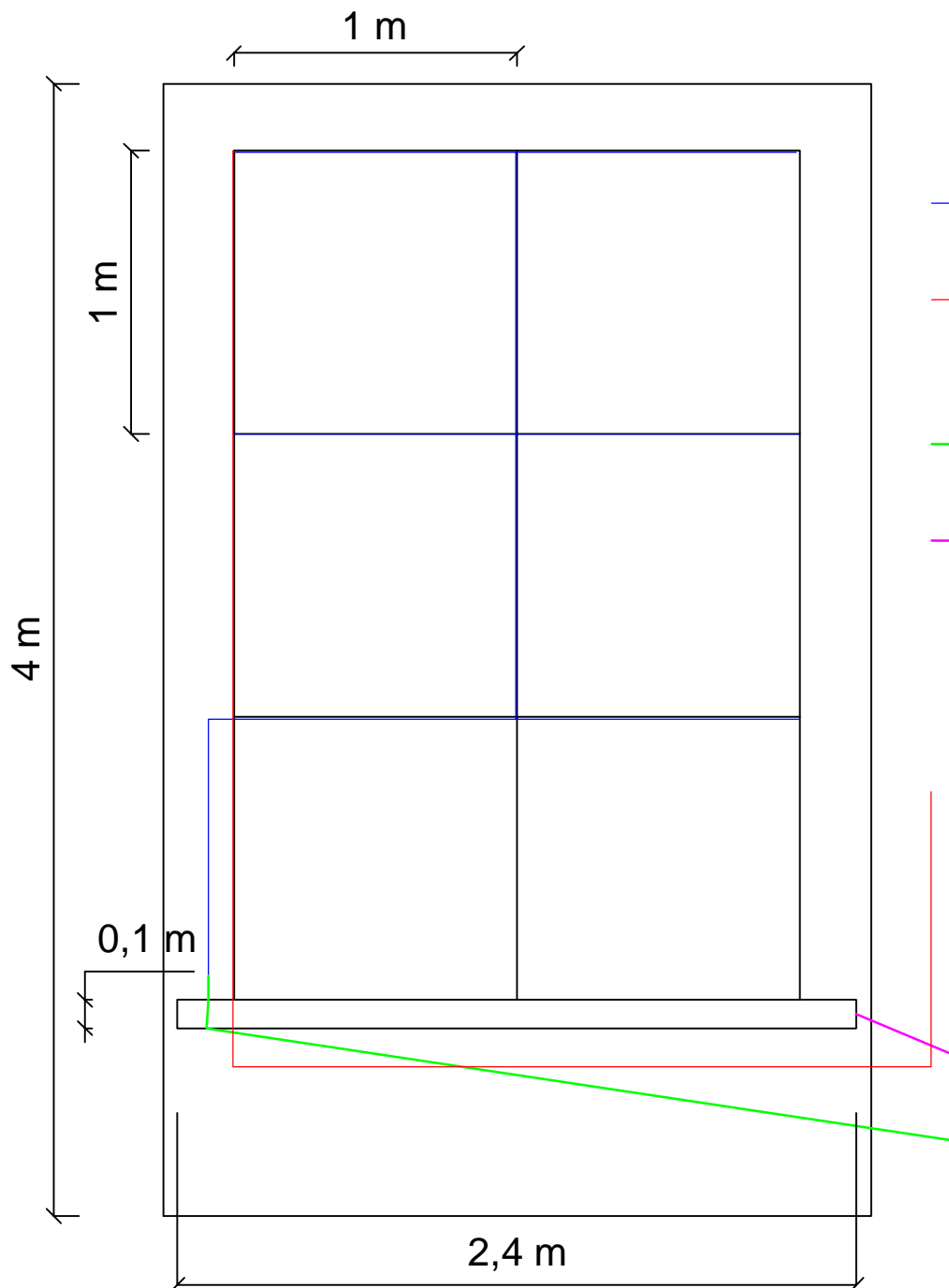
Firma:

Diseño, construcción
y análisis de funcionamiento inicial de un
sistema de acuaponía que combina un
estanque ornamental con un jardín
vertical exterior.

Croquis: Perfil Sistema acuapónico

Fecha: 1/ Junio/2017

ANEXO III



Leyenda:

- Tubería riego PE 16/2.5
- Tubería riego programado 16/2.5
- Tubería riego PE 30/4
- Tubería evacuación PE 30/4

Autora: Ana María González Bernudez		Firma:	Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior.
Escala: 1/25	Nombre plano: Alzado dimensionado del jardín vertical		
Nº Plano: 1			
			Fecha: 15/ Mayo/2017

ANEXO IV

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Hedera	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	SLR	SLR	Asp	Asp	Asp	Asp
2	Hedera	Hedera	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	SLR	SLR	Oro	Asp	Asp	Asp
3	Hedera	Hedera	BZ	BZ	BZ	SLR	BZ	SLR	SLR	SLR	Oro	Asp	Asp	Asp
4	Hedera	Hedera	BZ	BZ	SLR	SLR	BZ	SLR	SLR	SLR	Oro	Oro	Asp	Asp
5	Hedera	Hedera	Hedera	BZ	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	Oro	Oro	Oro	Asp	Asp
6	Hedera	Hedera	Hedera	AJG	SLR	SLR	SLR	SLR	Oro	Oro	Asp	Asp	Asp	Asp
7	Hedera	Hedera	AJG	AJG	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	Oro	Asp	Asp	Asp	Asp
8	Hedera	Hedera	AJG	AJG	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	Oro	SLR	Asp	Asp	Ficus
9	Hedera	Hedera	Hedera	AJG	AJG	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	Asp	Ficus	Ficus
10	Hedera	Hedera	AGT	AGT	AJG	AJG	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	Asp	Ficus	Ficus
11	Hedera	AGT	AGT	AGT	AGT	AJG	AJG	SLR	SLR	SLR	SLR	Asp	Asp	Ficus
12	HLC	HLC	REX	AGT	NPL	AJG	AJG	AJG	AJG	SLR	SLR	Asp	Asp	Ficus
13	NPL	HLC	REX	REX	NPL	NPL	AJG	AJG	AJG	AJG	SLR	SLR	Asp	Ficus
14	NPL	REX	REX	REX	NPL	NPL	AJG	AJG	AJG	AJG	AJG	Ficus	Ficus	Ficus
15	NPL	NPL	REX	REX	NPL	NPL	AJG	AJG	AJG	AJG	AJG	AJG	Ficus	Ficus
16	MCR	FJ	FJ	FJ	NPL	AGT	AGT	AJG	AJG	AJG	AJG	AJG	AJG	Ficus
17	MCR	MCR	FJ	FJ	NPL	FJ	AGT	AJG	AJG	AJG	AJG	Trades	Trades	Ficus
18	MCR	MCR	FJ	FJ	FJ	FJ	AGT	AGT	AJG	AJG	Trades	Trades	Trades	ACT
19	MCR	FJ	FJ	FJ	FJ	FJ	CHL	CHL	Trades	Trades	CLM	CLM	Trades	ACT
20	MTR	MTR	FJ	FJ	FJ	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	Trades	Trades	ACT	ACT
21	MTR	MTR	FJ	FJ	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	ACT	ACT	ACT

ACT	<i>Acanthus mollis</i>	BZ	<i>Carex flacca</i>	Ficus	<i>Ficus pumila</i>	HLC	<i>Phlebodium aureum</i>
AGT	<i>Agapanthus africanus</i>	Oro	<i>Carex oshimensis</i>	Hedera	<i>Hedera helix</i>	SLR	<i>Soleirolia soleirolii</i>
AJG	<i>Ajuga reptans</i>	CHL	<i>Chlorophytum comosum</i>	MCR	<i>Microlepia</i>	Trades	<i>Tradescantia pallida</i>
Asp	<i>Asparagus sprengeri</i>	CLM	<i>Cyclamen persicum</i>	MTR	<i>Monstera deliciosa</i>		
REX	<i>Begonia rex</i>	FJ	<i>Fatsia japonica</i>	NPL	<i>Nephrolepis exaltata</i>		

ANEXO V



**"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA
QUE COMBINA UN ESTANQUE ORNAMENTAL CON UN JARDÍN VERTICAL EXTERIOR"**



DATOS GENERALES DEL ENCUESTADO:

Género: _____

Nº de cuestionario: _____

Edad: _____

Asignatura: _____

Curso más alto en el que está matriculado: _____

Especialidad: _____

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR EL CUESTIONARIO:

Lee atentamente las preguntas y marque con una x la respuesta que más se adapte a su opinión.

1. ¿Con qué frecuencia acude usted a las instalaciones de la ETSIA?

☐ Diariamente ☐ Tres veces/semana ☐ Una vez/semana ☐ Ocasionalmente

2. ¿Cuál es su opinión acerca de la estética del jardín delantero (exterior) de la ETSIA?

☐ Muy buena ☐ Buena ☐ Justa ☐ Deficiente ☐ Muy deficiente

3. ¿Conoces el jardín vertical que está instalado en el jardín exterior de la escuela?

☐ Sí ☐ No

4. ¿Qué conocimientos previos tiene acerca de jardines verticales y acuaponía?

Jardines verticales: ☐ Nada ☐ Poco ☐ Algo ☐ Bastante ☐ Mucho

Acuaponía: ☐ Nada ☐ Poco ☐ Algo ☐ Bastante ☐ Mucho

Combinación de ambos: ☐ Nada ☐ Poco ☐ Algo ☐ Bastante ☐ Mucho

Los jardines verticales pueden integrarse en sistemas acuapónicos lo cual reduciría considerablemente el suministro de agua y nutrientes al jardín, haciéndolo de este modo más sostenible. De manera general, un sistema acuapónico combina la producción de peces, y el cultivo de plantas en un sistema hidropónico. Los desechos metabólicos producidos por los peces son aprovechados como nutrientes por las plantas que funcionan como biofiltro del agua.

En este trabajo se diseña, construye y analiza el funcionamiento inicial de un sistema acuapónico enfocado a la jardinería en el que se combina un estanque ornamental y un jardín vertical exterior.

5. ¿Crees que la instalación de un jardín vertical aporta valor estético al conjunto del jardín delantero de la ETSIA?

☐ Muy de acuerdo ☐ De acuerdo ☐ Indiferente ☐ En desacuerdo ☐ Muy en desacuerdo

6. ¿Piensas que este sistema aportaría beneficios?

Beneficios	Definitivamente sí	Probablemente sí	Indeciso	Probablemente no	Definitivamente no
Mejora la calidad del aire					
Eficiencia energética					
Aumento de la biodiversidad					
Efecto ecológico					
Mejora de la sostenibilidad del jardín					
Eficacia como biofiltro					
Innovación de nuevas tecnologías					
Estético					

7. ¿Crees que la integración de la acuaponía con la jardinería vertical es una tecnología que ofrece nuevas oportunidades?

☐ Muy de acuerdo ☐ De acuerdo ☐ Indiferente ☐ En desacuerdo ☐ Muy en desacuerdo

Gracias por su colaboración.